

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA ROBOTIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Výukové pracoviště s průmyslovým robotem ABB IRB140

The Educational Robotic Cell with the ABB IRB 140 Industrial Robot

Student:

Bc. Michal Vocetka

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Václav Krys, Ph.D.

Ostrava 2018

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21. 5. 2018

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21. 5. 2018

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Michal Vocetka

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bílovecká 56, Opava, 747 06

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací výukového pracoviště pro výuku ovládání, online/offline programování průmyslových robotů ABB, s řízením IRC5. Práce je zaměřena na konstrukci pracoviště, a to jak po stránce strojní, tak i elektro konstrukce. Pracoviště bylo vyrobeno a dnes slouží k výuce na centru robotiky.

Vlastní konstrukce je doložena kompletní výkresovou dokumentací, schémata zapojení bezpečnostních okruhů, uživatelských okruhů a také pneumatického obvodu.

Součástí práce je i sada výukových materiálů, pro podporu vedení výuky na navrženém pracovišti. Tato sada sestává ze skript, prezentací a úloh, řešených krok po kroku.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Master thesis deals with the design and realization of vocational training robotic cell for online / offline programming training and teaching on IRB140 industrial robot with IRC5 control system. Thesis is focused on the mechanical design and wiring as well. The robotic cell was produced and implemented in the university's department of robotics, where it serves for teaching purposes.

The actual technical solution is supported by the complete drawing documentation, safety circuit drawings, wiring diagrams and also pneumatic circuit diagram. To support the teaching and training on the robotic cell a set of teaching materials is included in the annex. These materials consist of the textbook, power-point presentations, demonstration tasks and step-by-step solved tasks.

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Václavu Krysovi, Ph.D za dlouhodobou pomoc, množství cenných rad a čas, který mi věnoval při řešení celé řady úkolů v rámci studia, SGS a této diplomové práce. Také děkuji své partnerce Ing. Silvii Grulichové za trpělivost a provedení korektury práce. Nakonec bych rád poděkoval panu Pavlu Böhmovi za pomoc při návrhu a realizaci světelných signalizačních majáků.

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	12
Seznam použitých značek a symbolů	13
Slovník termínů	14
Úvod	15
1 Analýza současného stavu	16
1.1 Přehled dostupných výukových pracovišť	16
1.1.1 ABB	17
1.1.2 FANUC	18
1.1.3 KUKA	20
1.2 Úvodní požadavky	21
1.3 Popis IRB140	22
1.4 Původní pneumatický obvod instalovaný na robotu	23
1.5 Popis mechanismu automatické výměny nástrojů	25
1.6 Výuka na UCR a profesionální školení u výrobce robotů	26
1.7 Souhrn analýzy	27
2 Požadavkový list	28
2.1 Výuka na pracovišti	28
2.2 Konstrukce pracoviště	29
3 Návrhy dílčích uzlů	30
3.1 Návrh efektoru, pro simulaci svařování	30
3.1.1 Návrh efektoru pro svařování laserovým paprskem	30
3.1.2 Návrh efektoru pro simulaci obloukového svařování	30
3.1.3 Návrh násobného efektoru, pro „obloukové svařování“	31
3.1.4 Souhrn	32
3.2 Návrhy pracovních prostředků	32
3.2.1 Varianta I.	32
3.2.2 Varianta II.	33
3.2.3 Varianta III.	33
3.2.4 Varianta IV.	34
3.2.5 Souhrn	34

3.3	Varianty rámu pracoviště	35
3.3.1	Varianta I.	35
3.3.2	Varianta II.	36
3.3.3	Varianta III.	36
3.3.4	Varianta IV.	37
3.3.5	Souhrn	38
4	Konstrukce pracoviště	39
4.1	Popis konstrukčního řešení realizovaného pracoviště	39
4.1.1	Rám - konstrukce	40
4.1.1	Rám – pevnostní analýza	43
4.1.2	Nástavba	45
4.2	Realizované efekторы	48
4.2.1	Popisovač	48
4.2.2	Chapadlo	50
4.2.3	Efektor pro pomůcku „Horký drát“	51
4.2.4	Držák nástrojů	52
4.3	Pracovní pomůcky	53
4.3.1	Kalibrační trn	53
4.3.2	Pracovní deska	53
4.3.3	Zásobník kostek	55
4.3.4	Pomůcka „horký drát“	55
4.4	Pneumatické prvky pracoviště	57
4.5	Elektroinstalace	60
4.5.1	Zapojení Customer connections	60
4.5.2	Zapojení bezpečnostních okruhů	62
4.5.3	Výroba kabelových svazků – kabeláž efektoru	64
4.5.4	Výroba kabelových svazků – spojovací kabel	66
4.5.5	Návrhy a výroba signalizačních majáků	67
4.6	Parametry a limity pracoviště	69
4.7	Položkový rozpočet	69
4.7.1	Výroba SKO Opava	70
4.7.2	Další nakupované díly	70
4.7.3	Elektro – komponenty	70

4.7.4	Pneumatické prvky	71
4.7.5	Konečná cena	72
5	Výuka a práce s pracovištěm	73
5.1	Návrh organizace výuky	73
5.1.1	Obsah první etapy	74
5.1.2	Obsah druhé etapy	75
5.1.3	Obsah třetí etapy	75
5.2	Podmínky pro udělení zápočtu	76
5.3	Praktická výuka na UCR	78
5.4	Skriptum	79
5.5	Prezentace	79
5.6	Prezentační úlohy	80
5.6.1	Prezentace obloukového svařování	80
5.6.2	Prezentace manipulace s materiálem	81
5.6.3	Prezentace kopírování trajektorie	81
5.7	Cvičební úlohy	82
5.8	Záloha systému a disk pro re-boot systému	82
6	Další rozvoj pracoviště	83
6.1	Návrh dvojitého pracoviště, pro výuku programování robotů v kooperaci (MultiMove programování)	83
6.1.1	Úpravy rámu, oproti prvnímu realizovanému pracovišti	84
6.1.2	Popis variant dvojitého pracoviště	85
6.2	Vision system	86
7	Závěr	88
8	Použitá literatura	89
9	Seznam příloh	91

Seznam obrázků

Obr. 1-1 Výukové pracoviště ABB (1).....	17
Obr. 1-2 Výukové pracoviště FANUC (2).....	19
Obr. 1-3 Výukové pracoviště KUKA (3).....	20
Obr. 1-4 ABB IRB 140 (4)	22
Obr. 1-5 Energetická 3D mapa ABB IRB 140 (5).....	23
Obr. 1-6 Schematická značka ventilu CKD 4SA 129-A2 (6).....	23
Obr. 1-7 Ventilový terminál CKD, kabeláž je již odpojena	24
Obr. 1-8 SHUNK SWS 005	25
Obr. 1-9 Osnova školení ABB (7)	26
Obr. 3-1 Efektor se značkovačem.....	30
Obr. 3-2 Popisovací efektor	31
Obr. 3-3 Troj - násobný popisovací efektor.....	31
Obr. 3-4 Pracovní deska.....	32
Obr. 3-5 Druhý návrh polohovatelné pracovní plochy	33
Obr. 3-6 Třetí návrh polohovatelné pracovní plochy	33
Obr. 3-7 Čtvrtý návrh polohovatelné pracovní plochy	34
Obr. 3-8 Detail aretace natočení	34
Obr. 3-9 První varianta řešení pracoviště	35
Obr. 3-10 Druhá varianta řešení	36
Obr. 3-11 Třetí (oboustranná) varianta	37
Obr. 3-12 Čtvrtá varianta	38
Obr. 4-1 Layout pracoviště	39
Obr. 4-2 zvolené řešení	40
Obr. 4-3 Nosný rám realizovaného pracoviště	41
Obr. 4-4 Axonometrický pohled na svařenec rámu	41
Obr. 4-5 Část výkresu desky.....	42
Obr. 4-6 Detail spojení deska/robot.....	42
Obr. 4-7 Definice akčních a reakčních sil na rám.....	43
Obr. 4-8 Průhyb rámu při maximálním zatížení	44

Obr. 4-9 Průhyb rámu při maximálním zatížení	45
Obr. 4-10 Detail spojení nosných profilů se svařencem	46
Obr. 4-11 Detail pracoviště bez a s krytováním	47
Obr. 4-12 Detail 270° pantu a zarážky dveří	47
Obr. 4-13 Magnet, zapuštěný do profilu dvířek.....	48
Obr. 4-14 Reálný efektor	49
Obr. 4-15 Řez popisovacím efektozem	50
Obr. 4-16 Svěrná síla	50
Obr. 4-17 Chapadlo s příslušenstvím na robotu	51
Obr. 4-18 Efektor k pomůcce „horký drát“	52
Obr. 4-19 Držák nástrojů	52
Obr. 4-20 Kalibrační trn.....	53
Obr. 4-21 Pracovní deska, vyosení o 10° kolem osy x souřadného systému robotu	53
Obr. 4-22 Přípravek k vyosení desky.....	54
Obr. 4-23 Dostupné přípravky (dva nasazený na magnety v buňce).....	54
Obr. 4-24 Zásobník kostek.....	55
Obr. 4-25 Horký drát - řez	56
Obr. 4-26 Horký drát	56
Obr. 4-27 Nákras senzoru FESTO SDE5 (8).....	58
Obr. 4-28 Současné řešení s ventily FESTO	58
Obr. 4-29 Ventil pro ovládání výměny nástrojů (9)	59
Obr. 4-30 Ventil pro ovládání nástroje (9)	59
Obr. 4-31 Detail ventilů FESTO, jedna z cívek je sepnuta.....	59
Obr. 4-32 Customer connections	60
Obr. 4-33 Vyústění customer connections uvnitř kontroléru	61
Obr. 4-34 DSQC 652 DI/O modul.....	61
Obr. 4-35 Oblast detekce snímače RE13 (10)	62
Obr. 4-36 Resetovací tlačítko bezpečnostních okruhů	63
Obr. 4-37 Schéma zapojení bezpečnostních okruhů.....	63
Obr. 4-38 Testovací zapojení bezpečnostních okruhů.....	64
Obr. 4-39 Zapojení spínacích relé UE43	64

Obr. 4-40	Tvorba elektroinstalace pracoviště.....	65
Obr. 4-41	Rozvod vodičů k příslušným svorkovnicím, vnitřkem kontroléru.....	65
Obr. 4-42	Spojovací kabel	66
Obr. 4-43	Jádro konektoru Harting.....	66
Obr. 4-44	Uchycení konektoru v buňce	67
Obr. 4-45	Testovací vzorek signalizačního majáku.....	67
Obr. 4-46	Druhý, opískovaný vzorek	68
Obr. 4-47	Signalizační maják, tvořený čirou zalévací hmotou.....	68
Obr. 4-48	Signalizační maják, tvořený skořepinou z polykarbonátu.	69
Obr. 6-1	Zdvojené pracoviště	83
Obr. 6-2	základní rám zdvojeného pracoviště	84
Obr. 6-3	První varianta zdvojeného pracoviště	85
Obr. 6-4	druhá varianta zdvojeného pracoviště	86
Obr. 6-5	Pohled do pracovního prostoru kamerou cognex	87
Obr. 6-6	Rozpoznání OM	87
Obr. 6-7	kamera na stojanu, instalovaná na pracovišti.	87

Seznam tabulek

Tab. 1	Parametry výukového pracoviště ABB (1)	18
Tab. 2	Parametry realizovaného pracoviště	69
Tab. 3	Rozpočet – výroba SKO Opava	70
Tab. 4	Rozpočet – nakupované díly strojní	70
Tab. 5	Rozpočet – nakupované díly elektro	70
Tab. 6	Rozpočet – nakupované pneumatické prvky	71
Tab. 7	Rozpočet – proinvestované prostředky	72

Seznam použitých značek a symbolů

SI	Système International
V	Volt , základná jednotka napětí v soustavě SI
A	Ampér, základní jednotka proudu v soustavě SI
W	Watt, základní jednotka výkonu v soustavě SI
N	Newton, základní jednotka síly v soustavě SI
Bar	je vedlejší jednotka tlaku v soustavě SI (1 bar = 100kPa)
MPa	Megapascal, jednotka tlaku odpovídající ekvivalentu zatížení 1N/mm^2
mm	Milimetr, jednotka délky (jedna tisícina metru: $1\text{mm} = 0,001\text{m}$)

Slovník termínů

RobotStudio	Software společnosti ABB pro programování jejich robotů
RobotWare	Řídicí systém průmyslových robotů ABB
Kontrolér	Elektrický rozvaděč s průmyslovým počítačem, slouží k napájení a řízení průmyslového robotu (<i>někdy je též nazýván kabinet</i>)
Koncový efektor	Zařízení, jež je instalováno na robotu a jež určuje jeho funkci
Rapid	Název programovacího jazyku, jímž jsou roboty ABB ovládány
TCP	Středový bod nástroje (tool center point) k němuž jsou vztaženy pohyby robotu
FPU	Dotykový ovladač robotu (Flex pendant unit)
TPU	Dotykový ovladač robotu (Teach pendant unit)

Pozn. V případě FPU a TPU se jedná o shodné zařízení, jež má více názvů

WorldZone	funkce řídicího systému robotu, jež umožní vymezit pracovní prostor robotu
SGS	Studentská grantová soutěž
UCR	Univerzitní centrum robotiky
DI	Digitální vstup (Digital input)
DO	Digitální výstup (Digital output)
GND	Uzemnění (GrouND)
LED	Elektroluminiscenční dioda (Light-Emitting Diode)

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá návrhem výukového robotizovaného pracoviště pro podporu výuky ovládání a online/offline programování průmyslových robotů ABB s řízením IRC5. V návrhu pracoviště a učebních materiálů pro výuku studentů bakalářského i magisterského studijního programu vycházím ze zkušeností získaných během téměř dvouleté praxe v oddělení průmyslové automatizace v BranoGroup a.s, školení ovládání a programování ve školicím centru ABB (Vestec u Prahy), znalostí nabytých na katedře robotiky, a to jak samotným studiem, tak především účastí na projektech studentské grantové soutěže.

Již v úvodu bylo rozhodnuto, že bude využit průmyslový robot ABB IRB140 TYPE C s řízením IRC5 a systém automatické výměny nástrojů SWS 005, výrobce SHUNK. Dále bylo rozhodnuto, že na pracovišti budou simulovány svařovací a manipulační úlohy s využitím již zakoupených pneumatických chapadel. Jak simulovat svařování však bylo třeba vymyslet.

Toto pracoviště bylo realizováno v rámci studentské grantové soutěže.

V rámci výuky předmětu *Laboratorní cvičení v oboru* se student i díky tomuto pracovišti seznámí se základy ovládání a programování robotů s řízením IRC5. Student by měl nabýt znalosti, jež v terminologii výrobce robotů odpovídají úrovní Operátor, Seřizovač a Specialista. Pracoviště je dále připraveno pro možná rozšíření, jež by zvýšili jeho funkcionality.

1 Analýza současného stavu

Kapitola analyzuje současný stav na katedře robotiky, dostupná řešení na trhu práce a dále jaké znalosti by měl absolvent, jež projde výukou na realizovaném pracovišti, získat.

Dále slouží coby výchozí materiál ke konkretizaci požadavkového listu.

1.1 Přehled dostupných výukových pracovišť

Všichni významní výrobci průmyslových robotů a jejich prodejci, nabízejí školení budoucích operátorů a programátorů na tyto systémy, a to především ve svých školicích centrech. Tento způsob přípravy budoucích odborníků je velmi profesionální a efektivní, má však své nevýhody. Tou první je vysoká cena takového školení, tou druhou pak praktická nemožnost sdílení nabytých znalostí a zkušeností mezi dalšími pracovníky té dané společnosti, která robotizaci zavedla nebo zavádí. Výuka nebo školení bez reálného robotu není dost dobře možná.

K výuce je nezbytné vlastnictví školicího robotu. Průmyslová robotizovaná pracoviště bývají navrhována s ohledem na maximální využití času tak, aby se investice do této velmi nákladné technologie vrátila v co nejkratším čase. To většinou znemožní využití robotu k jiným než výrobním účelům a i kdyby tato možnost byla, je nepravděpodobné, že by na sebe někdo vzal odpovědnost za případné narušení výroby vlivem „neodborné“ manipulace s robotem, který má například ve dvousměnném provozu nahradit několik pracovníků. Zvláště pak s ohledem na dnešní trend *IN TIME* zásobování.

Využití vlastního školicího pracoviště se tedy přímo nabízí.

1.1.1 ABB

Společnost ABB, přední světový výrobce průmyslových robotů, nabízí kompletní pracoviště vybavené robotem IRB120 s Compact kontrolérem IRC5. Robot s nosností 3 kg a vlastní hmotností 25 kg je uzavřen v buňce z hliníkových profilů, kterou lze uzavřít dvířky tak, aby v případě automatického režimu, kdy je robotu umožněn pohyb maximální rychlostí, nehrozilo zranění školené osoby. Pracoviště splňuje všechny bezpečnostní normy.

Toto pracoviště je navrženo primárně pro školy, tomu odpovídá jeho konstrukce, kterou je možno rozdělit na části tak, aby prošla dveřmi o standardním rozměru (800 mm). K napájení tohoto robotu postačí zásuvka na 230V / 16A. Součástí buňky je i roční bezplatná licence softwaru RobotStudio pro sto počítačů. Společnost ABB propůjčuje akreditaci pro výuku robotiky a RobotStudia a zavazuje se ke každoročnímu doškolení odpovědných pracovníků, kteří v úvodu spolupráce rekvalifikačním školením projdou.



Obr. 1-1 Výukové pracoviště ABB (1)

Výrobce v základní verzi umožňuje připojení periferních zařízení, komunikujících pomocí digitálních signálů. K dispozici je 8 vstupů a 8 výstupů. Pro snazší komunikaci, nahrávání programů či vytváření záloh, je systém opatřen USB konektorem.

Další možná rozšíření již záleží na přání a požadavku zákazníka, ABB nenabízí žádná odstupňovaná „řešení šité na míru“. Výrobce pouze uvádí možnost rozšíření o další prvky automatizace, například dopravníkový pás, magnetické či pneumatické prvky, kompresor, kamerový systém a podobně.

Tab. 1 Parametry výukového pracoviště ABB (1)

Rozměry	1200 x 1200 mm
<i>pozn. Možná manipulace dveřmi do šíře 800mm</i>	
Příkon	0,3 kW
Hmotnost	240 kg
Nosnost robotu	3 kg
Dosah robotu	580 mm
Opakovatelná přesnost robotu	0,01 mm
Třída bezpečnosti	PL d (cat. 3)

1.1.2 FANUC

Společnost Fanuc nabízí „specializované balíčky“. Základem takového balíčku je robot LR-Mate 200iD/4S s nosností do 4 kg, řídicí jednotka 30iB Compact Mate a dotykový display k ovládání systému. Základní verze umožňuje připojení periferních zařízení, k tomu je pracoviště vybaveno 28 digitálními vstupy a 20 výstupy. „Vzdělávací softwarový balík“ obsahuje Multitasking, FTP interface, Constant path, DCS position / Speed check a další možnosti.

Dále Fanuc nabízí licenci softwaru RoboGuide pro dvacet počítačů a školení pro budoucí školitele do té míry, aby byli schopni samostatně vyučovat.

Základní balíček I lze rozšířit na:

- verzi II, která obsahuje integrované 2D vidění
- verzi III, která obsahuje 2D vidění a robot umístěný v buňce z hliníkových profilů
- verzi IV, což je verze III osazená elektrickým chapačem výrobce SHUNK.

V případě školení společnost nabízí zaškolení obsluhy ve svém školicím centru, kde je schopna napodobit libovolné výrobní podmínky a technologie a tudíž zajistit kvalitní přípravu, aniž by byla narušena stávající výroba v dané firmě.

Dále Fanuc nabízí školení přímo u zákazníka, a to jak na již instalovaném zařízení, tak pomocí vlastní mobilní školicí buňky.

Jednou z výhod školení u Fanucu je možnost školení práce s více různými stroji. Pokud má zákazník zájem instalovat například CNC systém, jenž bude obsluhován robotem, je Fanuc schopen poskytnout jednotné školení zaměřené na oba tyto rozdílné systémy (předpokladem je, že výrobcem obou těchto systémů bude právě Fanuc).



Obr. 1-2 Výukové pracoviště FANUC (2)

1.1.3 KUKA

Kuka nabízí vlastní buňku ready2_educate, která je osazena robotem KR3 AGILUS s kompaktním řídicím systémem KR C4. Slovy výrobce je buňka určena především pro střední a vysoké školy, případně firemní vzdělávací zařízení.

Ready2_educate je již před-programována pro vlastní výukové aplikace. Součástí dodávky jsou další výukové pomůcky v podobě zásobníku kostek, podavače, držáku na papír a cvičební sady „horký drát“.

Buňka je konstruována tak, aby se vešla do klasických výtahů a prošla dveřmi o standardním rozměru 80 cm.

Pokročilý uživatel může pracoviště rozšířit o:

- senzitivní robotiku – kde je instalován robot LBR iiwa
- spolupráci člověka s robotem (HRC) – úvod do světa kooperativní robotiky
- Industry 4.0 – internet věcí.

Více o těchto rozšiřujících modulech Kuka na svém webu neuvádí.



Obr. 1-3 Výukové pracoviště KUKA (3)

1.2 Úvodní požadavky

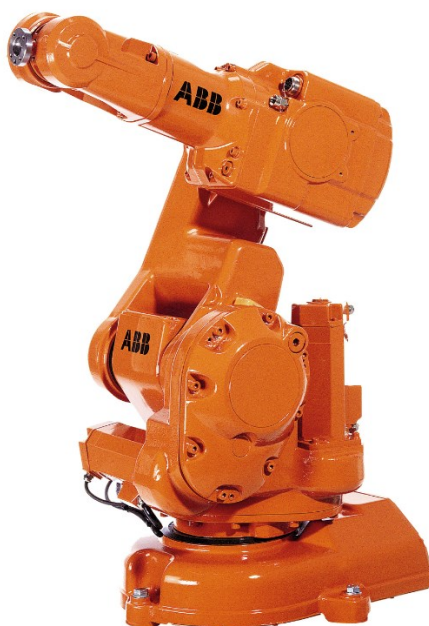
Již na počátku bylo rozhodnuto, že realizované pracoviště bude osazeno robotem IRB140 TYPE C, jenž byl k dispozici. Tento robotu bude vybaven systémem automatické výměny nástrojů SHUNK SWS 005 pro zvýšení variability pracoviště.

K dispozici je systém dimenzovaný pro tři různé nástroje. Na samotné cvičební úlohy je kladeno několik požadavků:

- simulace svařování
 - návrh vhodného efektoru
 - návrh pracovního „prostředku“, jenž umožní posunutí v rovině i vytočení v prostoru, a tudíž umožní i řešení složitějších prostorových trajektorií
- simulace manipulačních úloh s využitím pneumatických chapadel, jenž jsou k dispozici na katedře robotiky
- vytvoření podkladů pro studium
- vytvoření prezentačních programů
- vytvoření výukových programů s komentářem
- vytvoření prezentací, pro podporu výuky.

1.3 Popis IRB140

Průmyslový robot ABB IRB140 je jedním z nejmenších robotů v portfoliu ABB. I přes své drobné rozměry je velmi výkonný. Dokáže manipulovat s tělesy o hmotnosti do 6 kg maximální rychlostí 2,5 m/s při zrychlení 20 m/s a při dosahu 810 mm. Vlastní hmotnost robotu je 97 kg. Robot lze pořídit v základní verzi, verzi pro čisté prostory (clean room) s možností oplachu, krytím IP67 a v provedení FoundryPlus.

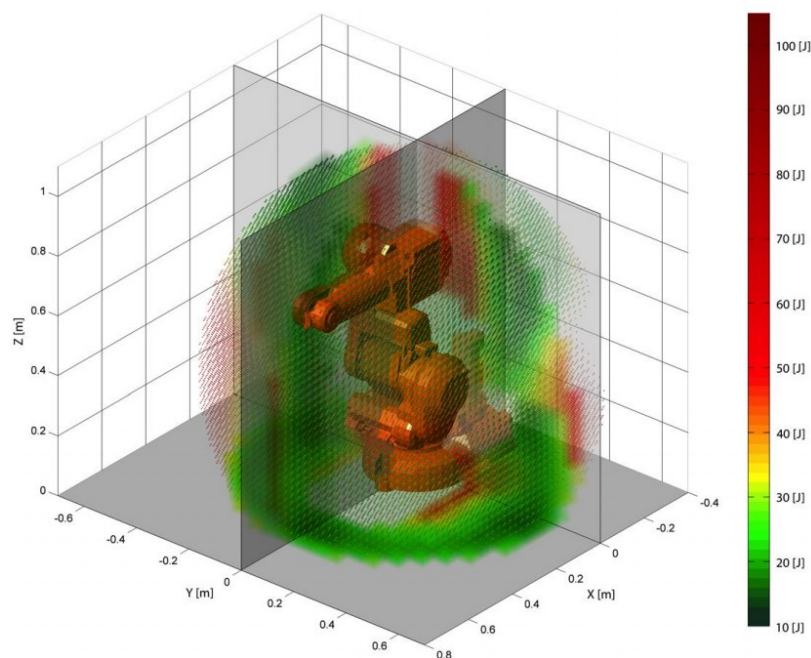


Obr. 1-4 ABB IRB 140 (4)

Vnitřní strukturou robotu je možné vést stlačený vzduch do tlaku 8 bar, k dispozici je však jen jedna větev. Dále je možné svést až 12 vodičů, skrze konektor customer connections. Výstup konektoru je na levé straně horního ramene robotu. Podrobný technický popis je součástí příloh této práce.

Jednou z výhod tohoto robotu je poměrně nízká spotřeba energie. Pokud je trajektorie pohybu TCP umístěna vhodným způsobem, lze v delším časovém horizontu uspořit nemalé prostředky, obzvláště pak při instalaci většího počtu robotů, které vykonávají cyklické operace po relativně krátkých drahách.

Obrázek níže zobrazuje 3D energetickou mapu tohoto robotu, na níž je zobrazena energetická spotřeba v joulech v barvách od zelené po červenou.

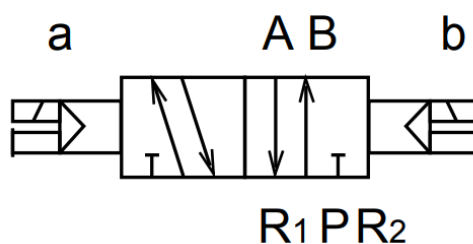


Obr. 1-5 Energetická 3D mapa ABB IRB 140 (5)

1.4 Původní pneumatický obvod instalovaný na robotu

Původně byl robot vybaven pneumatickými ventily výrobce CKD. Tyto ventily byly dodány společně se systémem automatické výměny nástrojů. Z mého pohledu však byly vybrány nevhodně. Svůj účel splnily, avšak naprosto nevyhovujícím způsobem.

Byly zde zvoleny dva dvou-cívkové, dvou-polohové, pěti-cestné ventily. Jeden pro ovládání automatické výměny, druhý pro ovládání nástroje. Již dvou-cívkové provedení u dvou-polohových ventilů je, v tomto případě, poněkud zbytečné. Z hlediska ovládání to znamená, že není určena výchozí poloha. Obsluha tedy předem neví, jak je ventil přestaven. Pokud chce ventil přestavit do protější polohy, musí nejprve vynulovat cívku, která jej drží v poloze současné, a až poté může přestavit ventil přivedením proudu na cívku protilehlou.



Obr. 1-6 Schematická značka ventilu CKD 4SA 129-A2 (6)



Obr. 1-7 Ventilový terminál CKD, kabeláž je již odpojena

Závažnějším nedostatkem je sama konstrukce ventilů. V případě ventilu ovládajícího nástroj absence uzavřené střední polohy znamená, že po odložení nástroje do držáku stlačený vzduch volně uniká přes jednu nebo druhou větev, což se, kromě na tuto aplikaci velké spotřeby vzduchu, projevuje velikým hlukem. Při rozpojení se obsluha lekne i v případě, že tento hluk očekává. V případě výuky by byl tento stav nepřijatelný.

Z těchto důvodů byly pneumatické prvky instalované na robotu zcela nahrazeny prvky vhodnějšími od výrobce FESTO.

1.5 Popis mechanismu automatické výměny nástrojů

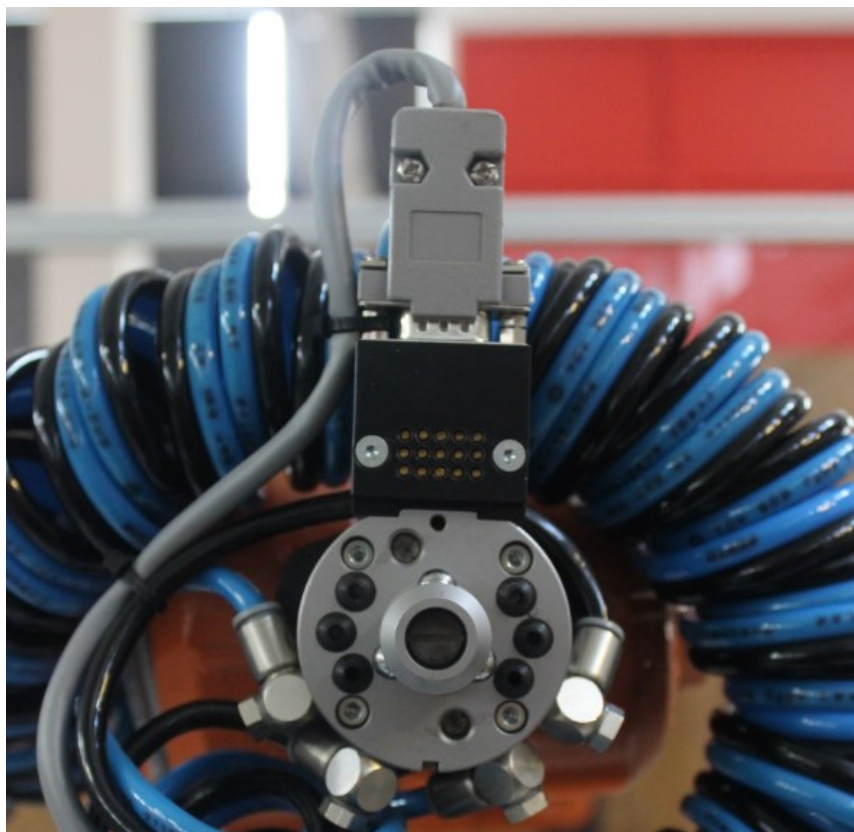
Pro zajištění funkce automatické výměny nástrojů je využit systém SHUNK SWS-005 o maximální nosnosti 8 kg. Sestává z trnu, který je umístěn na robotu, a příruby, která nese nástroj.

System je osazen konektorovými poli s rozhraním D-SUB HD15M s celkem 15 piny pro přívod signálů. Dále je zde možnost vnitřního vedení stlačeného vzduchu, k dispozici je šest oddělených cest.

System je samosvorný, takže při výpadku stlačeného vzduchu nehrozí vypadnutí drženého nástroje.

K dispozici je sada sestávající z následujících částí:

- 1x TRN SWS 005
- 3x příruba SWS005
- 3x sada konektorových polí
- 3x indukční magnetický snímač přítomnosti příruby ve stojanu
- 1x stojan se třemi pozicemi
- 1x rozhraní TRN/příruba robotu.



Obr. 1-8 SHUNK SWS 005

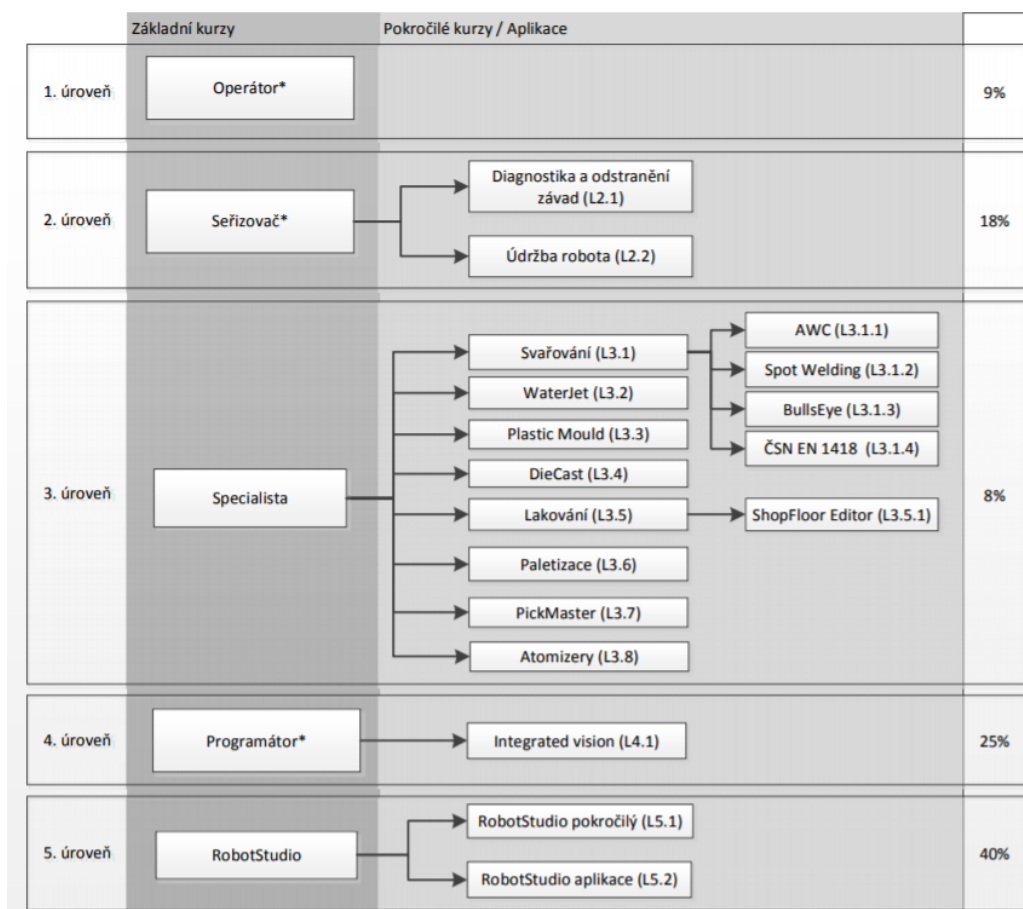
1.6 Výuka na UCR a profesionální školení u výrobce robotů

Obsáhlý strojní park, jímž katedra robotiky disponuje, umožňuje budoucí operátory a programátory připravit na některé problémy, jež je mohou v praxi potkat. Na katedře robotiky probíhá výuka na IRB140 ve dvou semestrech navazujícího magisterského studia, v prvním se studenti seznámí se softwarem RobotStudio, ve třetím pak pracují s reálným robotem.

Vzhledem k časové náročnosti, jež kvalitní příprava budoucího programátora vyžaduje, je však základní výuka spíše okrajová a student nabyde jen základní znalosti, které si pak musí v praxi doplnit.

Alternativou k výuce na katedře robotiky, případně možností k doplnění a rozšíření znalostí o další odborné aplikace, je sada školicích kurzů, jež nabízí výrobce robotů, společnost ABB.

ABB školí ve dvou lokalitách – Vestci u Prahy a Ostravě-Hrabové. Kurzy jsou důkladně rozděleny, viz obrázek níže.



Obr. 1-9 Osnova školení ABB (7)

Školicí centrum ABB robotika nabízí široké spektrum kurzů. Kurzy jsou rozděleny dle náročnosti na:

- základní kurzy – operátor, seřizovač, specialista, programátor, RobotStudio
- kurzy diagnostika a údržba – diagnostika a odstranění závad, pravidelná údržba
- speciální a aplikační kurzy – YuMi, flexArc, Waterjet, Lakování, BullsEye aj.

Školení jsou navržena pro čtyři osoby, tomu odpovídá i jejich cena. Dobu trvání konkrétních kurzů je třeba zjistit u výrobce, běžně není uváděna. Ze zkušenosti však vím, že k proškolení na dvě základní úrovně (operátor a seřizovač) bylo zapotřebí 40 hodin (tedy jeden pracovní týden). Na školení lze čerpat dotaci z fondů EU (konkrétně se jedná o dotační program POVEZ II). V případě zájmu je možné školení realizovat u zákazníka, k čemuž ABB využívá svůj mobilní školicí robot. Výstupem takového školení je certifikát s dvouletou platností, jeho získání je podmíněno úspěšným zvládnutím závěrečného testu.

1.7 Souhrn analýzy

Z výše popsaného vyplynulo následující.

- Přestože jsou všechna na trhu dostupná řešení postavena na základě rámu z hliníkových profilů, v tomto případě tomu tak nebude. Důvodem je hmotnost a nosnost IRB140. Dle domluvy bude pracoviště rozděleno na základnu, jež bude svařována z ocelových profilů o tloušťce stěny 5 mm, a nástavby z hliníkových tvarových profilů.
- Celý ventilový terminál bude nahrazen.
- Budou vytvořeny tři efektory:
 - jedno pneumatické dvou-čelistové chapadlo
 - popisovací efektor, osa fixu bude se středovou osou robotu svírat úhel 45°
 - efektor pro kopírování trajektorie (pomůcka „horký drát“).
- Popisovací efektor bude popisovat list papíru, nesený vhodným přípravkem.
- Vzhledem k důvodům popsaným výše bude student vyškolen v oblastech a úkonech, jež jsou rozepsány níže, v požadavkovém listu.

2 Požadavkový list

Tento požadavkový list vzešel z návrhů popisovaných v první kapitole, a také z diskuzí, při nichž se rozhodlo, jakým způsobem bude daný robot využíván a jaká míra odbornosti je od absolventů očekávána.

Požadavkový list je rozdělen do dvou částí tak, aby odpovídal zadání diplomové práce, která je rovněž rozdělena na konstrukci pracoviště a výuku na pracovišti.

2.1 Výuka na pracovišti

Níže vypsané požadavky vycházejí z profesionálního školení, jež poskytuje dodavatel robotů a diskuse na katedře robotiky. Kladou si za cíl seznámit studenty s průmyslovými roboty, jejich možnými periferiemi, a připravit je na budoucí výzvy v oboru.

Samotná výuka je určena studentům, kteří většinou nemají předchozí zkušenosti s ovládáním robotů, proto je kladen důraz především na práci bez využití PC resp. simulačního prostředí softwaru RobotStudio.

Požadované úkony jsou:

- ruční ovládání robotu
- orientace v menu
- definice nástrojů
- okno operátora
- orientace v již vytvořeném programu, kontrola funkcí programu
- základní práce s daty (tvorba a úpravy bodů, proměnných apod.)
- základní pohybové programování
- funkce, cykly
- práce se signály (pouze digitální)
- WorkObject
- WorldZones

2.2 Konstrukce pracoviště

Pracoviště, které slouží potřebám katedry robotiky, je navrženo na základě níže vypsanych předpokladů a podmínek.

- Využít stávající robotu ABB IRB140 Type C
- Využít stávající systému automatické výměny nástrojů SWS 005
- Vytvořit nástroje a metody pro simulaci robotizovaného obloukového svařování
 - Využít popisovací efektor dle rozvahy z kapitoly 3
 - Efektor vybavit světelným signalizačním zařízením
- Navrhnout pracovní rovinu, která půjde vychýlit v rovině i prostoru
 - Využít obyčejnou desku, jež bude osazena pravítky v osách x a y
 - Vytvořit segmenty umožňující vyosení desky v prostoru
- Volba nástroje a vytvoření metod pro simulaci manipulačních aplikací
- Vytvořit pracoviště s ohledem na bezpečnostní normy v automatizaci
- Navrhnout bezpečnostní okruhy pracoviště
- Příkon 200 – 600V (50 – 60Hz) 0,4kW
- Stlačený vzduch: 4,5 – 7 barů, 200 l/min
- Místo instalace: Univerzitní centrum robotiky VŠB - TU Ostrava
- Konstrukce, jejímž základem bude svařovaný rám s profily o tloušťce 5 mm
- Konstrukce, která umožní připojení dalšího pracoviště z levé nebo pravé strany

3 Návrhy dílčích uzlů

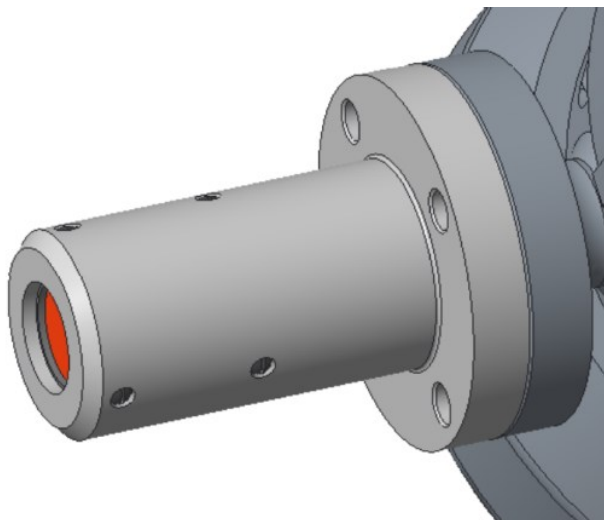
Variantní řešení jednotlivých částí jsou pro přehlednost popsány samostatně v rámci této kapitoly. Závěrem každé podkapitoly je souhrn, v němž jsou popsány výhody, nevýhody a zvolené řešení.

3.1 Návrh efektoru, pro simulaci svařování

Prvotní požadavek nespecifikoval, o jakou technologii svařování by se mělo jednat. Konkrétní efektor je vybrán na základě porovnání navržených variant. Důvody výběru konkrétního efektoru jsou popsány níže v podkapitole 3.1.4.

3.1.1 Návrh efektoru pro svařování laserovým paprskem

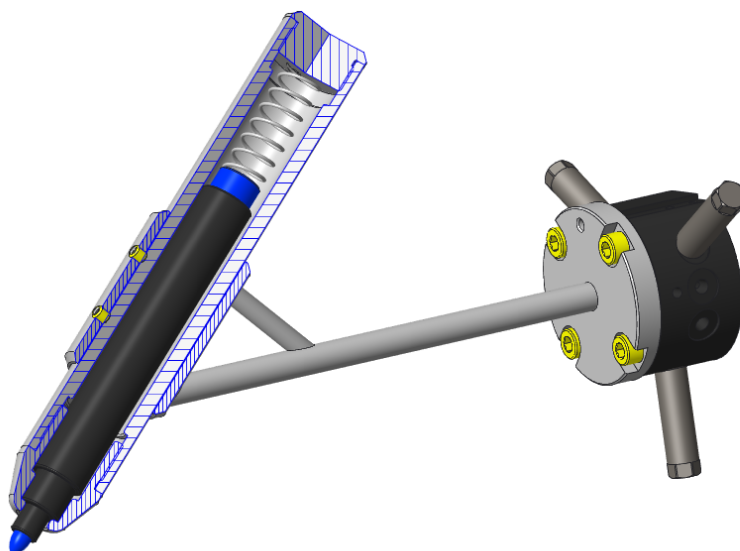
Prvotní návrh, nebo spíše myšlenka, sestává z jednoduchého tělesa, jehož jádrem je laserový značkovač, centrovatelný pomocí stavěcích šroubků. Tato varianta by omezila robot o poslední tj. šestou osu, jejíž rotace by byla nepodstatná, jelikož osa značkovače a osa č. 6 robotu jsou shodné.



Obr. 3-1 Efektor se značkovačem

3.1.2 Návrh efektoru pro simulaci obloukového svařování

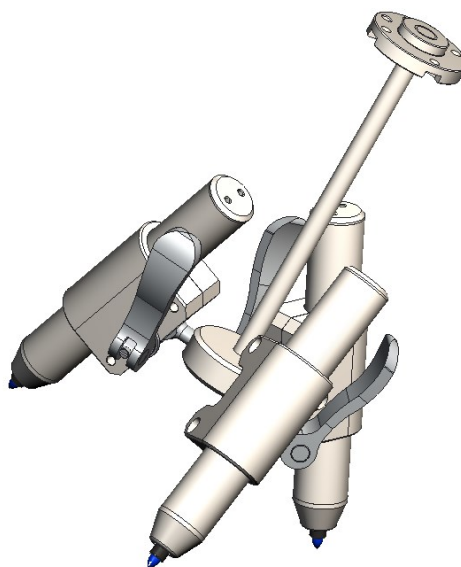
Realizovaný efektor je třeba vyosít mimo osu příruby robotu z výše popsaných důvodů. K simulaci svařovacích úloh se jako nejlepší jeví kreslení po ploše, v začátcích rovinné horizontální, později rovinné nakloněné nebo křivkové. U efektoru je uvažován hrubý fix, pro zpřesnění obkreslování definovaných křivek by do budoucna bylo možno efektor osadit fixem nebo tuhou o menší tloušťce čáry a s menší vnitřní vůlí.



Obr. 3-2 Popisovací efektor

3.1.3 Návrh násobného efektoru, pro „obloukové svařování“

Jednou z myšlenek, jak posunout možnosti RTP dále, je umístění trojice aretovatelných fixů na jediném efektoru tak, aby robot mohl bez výměny „svařovat“ různými barvami a s různými TCP. Každý popisovač lze ustavit v určitém rozsahu v ose z (souřadného systému nástroje) a natočit kolem všech tří os pomocí kulového kloubu. Celé ustavení je realizované jedinou samosvornou excentrickou pákou. Kulový klub by však byl velmi citlivý na kolize. I drobný náraz by vytočil popisovač neurčitým směrem, a musela by následovat nová definice nástroje. Taková to „nejistota“ není v případě školicích pracovišť žádoucí.



Obr. 3-3 Troj - násobný popisovací efektor

3.1.4 Souhrn

Varianta navržená pro simulaci laserového svařování by nebyla využitelná především z důvodu velmi komplikovaného programování a praktické nemožnosti kontroly výsledku vyučujícím. Bod by po rovině nebo ploše jednoduše „utíkal“ příliš rychle. Programování aplikací svařování laserem přísluší pokročilejším uživatelům.

Také by bylo jen velmi obtížné dodržet případný požadavek na svařování „kolmo k povrchu“ (případně pod definovaným úhlem), což je důležité při tradičních metodách svařování.

Vzhledem k dostupnosti systému automatické výměny nástrojů SHUNK není s ohledem na cenu realizace násobného efektoru perspektivní.

Z těchto důvodů bude realizován jednoduchý efektor pro simulaci obloukového svařování. Detailní popis je obsahem kapitoly 4.2.1.

3.2 Návrhy pracovních prostředků

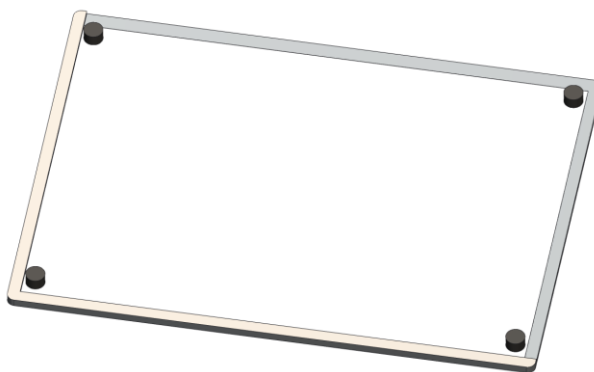
Zadání vyžadovalo RTP rozšířit o přípravek, který by nesl papír, na který by se kreslilo. Tento přípravek musí splnit následující podmínky

- možnost vychýlení o definovaný úhel
- možnost posunu v osách x a y o definovaný rozměr.

Tyto požadavky se promítly do několika variant polohovatelných pracovních desek, avšak přetvořily jednoduchý koncept ve zbytečně složitý celek.

3.2.1 Varianta I.

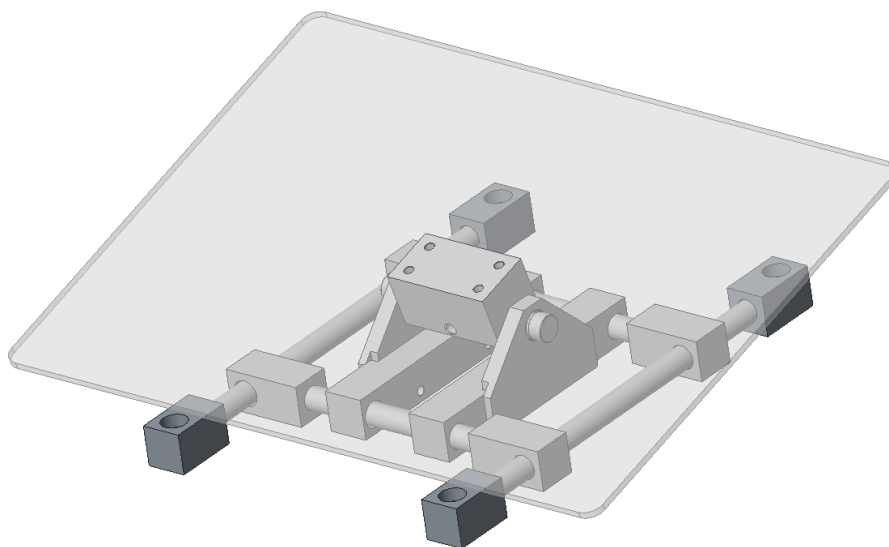
Sestává z ocelové desky, která je k RTP uchycena magnety. Pro kreslení na šikmé rovině je deska podložena bloky s vestavěnými magnety. Papír je na desce rovněž uchycen čtveřicí magnetů.



Obr. 3-4 Pracovní deska

3.2.2 Varianta II.

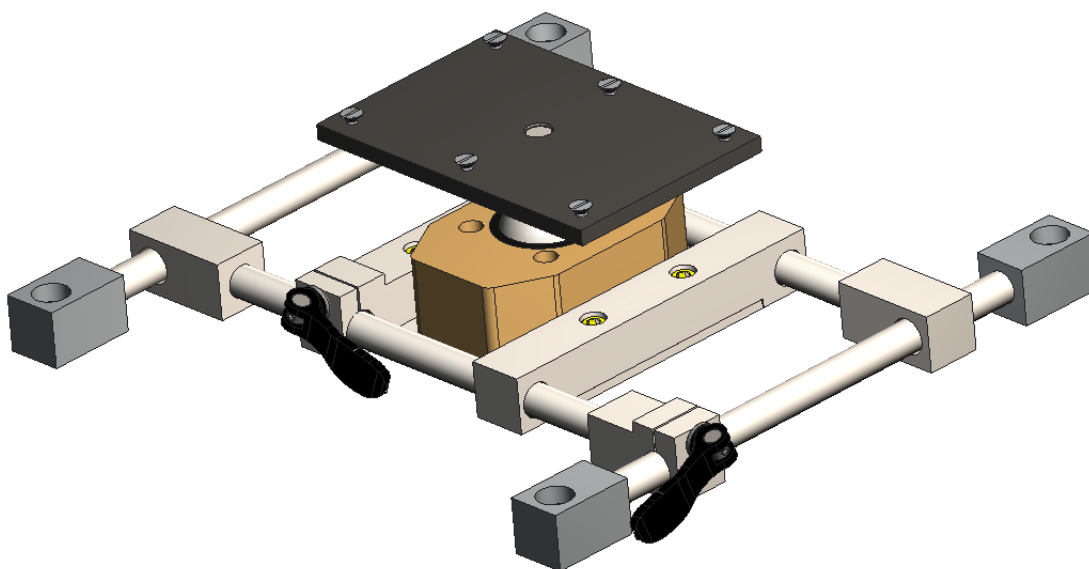
Uvažuje polohovadlo umožňující posun v osách x a y a dále rotaci kolem osy x . Přestavení v rovině je řešeno posuvem bloku s kluznými pouzdry po vodicí tyči malého průměru. Aretace sevřením pouzdra blokem - excentrickou pákou. Tento mechanismus pak nese jednoduchou kovovou desku.



Obr. 3-5 Druhý návrh polohovatelné pracovní plochy

3.2.3 Varianta III.

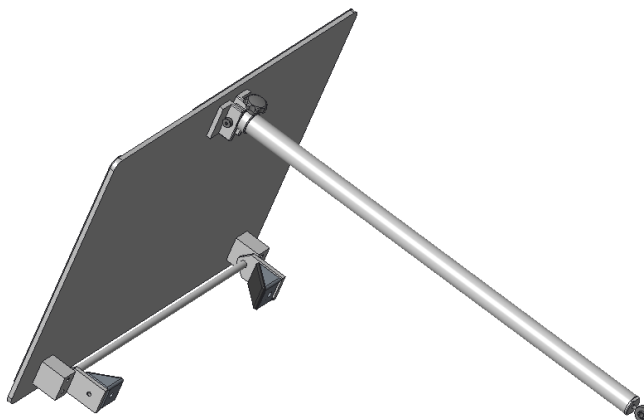
Vychází z druhé varianty, naklápění je však umožněno kolem všech tří os aretovatelným kulovým čepem. Odměrování posuvů je možné odečtením hodnot na vlepené (příšroubované) stupnici.



Obr. 3-6 Třetí návrh polohovatelné pracovní plochy

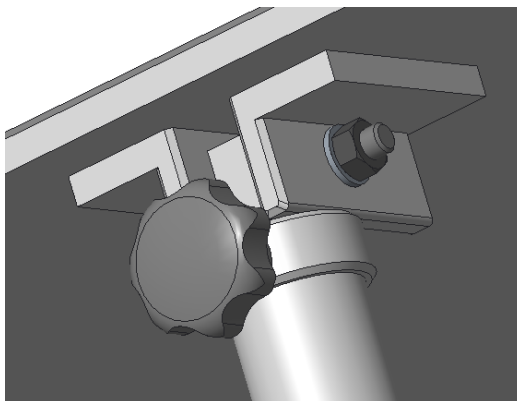
3.2.4 Varianta IV.

Jde o pokus celé polohovadlo zjednodušit kombinací první varianty a požadavku na definovatelný úhel natočení. Řešením je posouvání papíru na desce, nikoliv celé desky oproti pracovišti.



Obr. 3-7 Čtvrtý návrh polohovatelné pracovní plochy

Na desce jsou nalepeny kovové stupnice k určení vzdálenosti, o kterou má být papír přestaven, náklon zde řeší jednoduchý „píst“ jehož pístnice je vybavena několika ryskami, jež by odpovídaly určitým úhlům. Aretaci zajišťuje stavěcí šroub. Nevýhoda tohoto uspořádání je v možnosti náklonu jen kolem jedné osy a obtížné zastavitelnosti celého mechanismu do stolu.



Obr. 3-8 Detail aretace natočení

3.2.5 Souhrn

Jednotlivé varianty v sobě odrážejí požadavky na přesné vychýlení v jednotlivých osách. Při srovnání daných řešení bylo zřejmé, že pro potřeby výuky programování v univerzitním prostředí postačí první varianta, modifikovaná o bloky, jež umožní její vychýlení v prostoru. Realizované řešení je podrobně popsáno dále.

3.3 Varianty rámu pracoviště

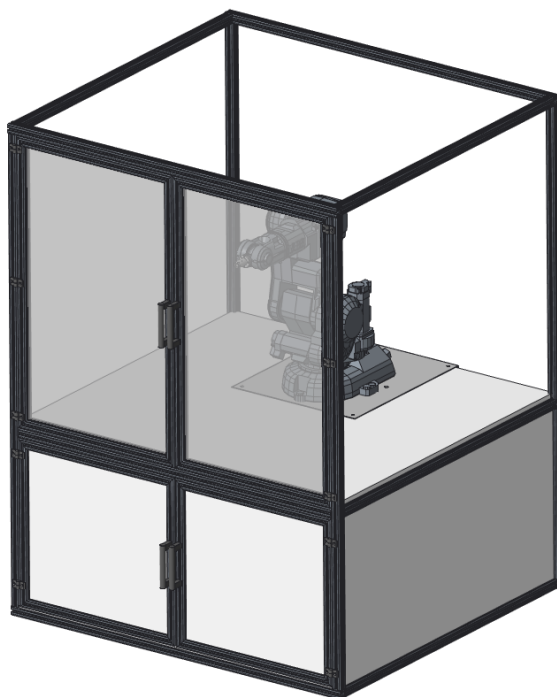
Dle zadání bylo navrženo několik variant uzavřených pracovišť.

3.3.1 Varianta I.

První varianta uvažuje pouze hliníkový rám, tvořený z profilů ITEM, konstrukční řady 8. Inspirací byla školicí pracoviště společnosti ABB. Roboty katedry, tj. IRB 140, jsou však celokovové a se svou hmotností 97 kg a nosností 7 kg by celohliníkový rám, tak jak byl navržen, nemusel být dostatečně tuhý. Jeho správné dimenzování by zase znamenalo značnou finanční zátěž pro katedru. Celohliníková konstrukce umožňuje, mimo jiné, snadné vestavení kontroléru a další případné technologie do vnitřních prostor buňky. Proto je RTP opatřeno dvířky i ve spodní části pracoviště

V počátcích se uvažovalo o zrušení stávajícího robotizovaného pracoviště na katedře robotiky, a využití všech jeho tří robotů ve školicích buňkách. I proto vznikla celá řada různorodých variant řešení. Od samostatných pracovišť po ztrojené pracoviště s robotem zavěšeným na masivním ocelovém sloupu

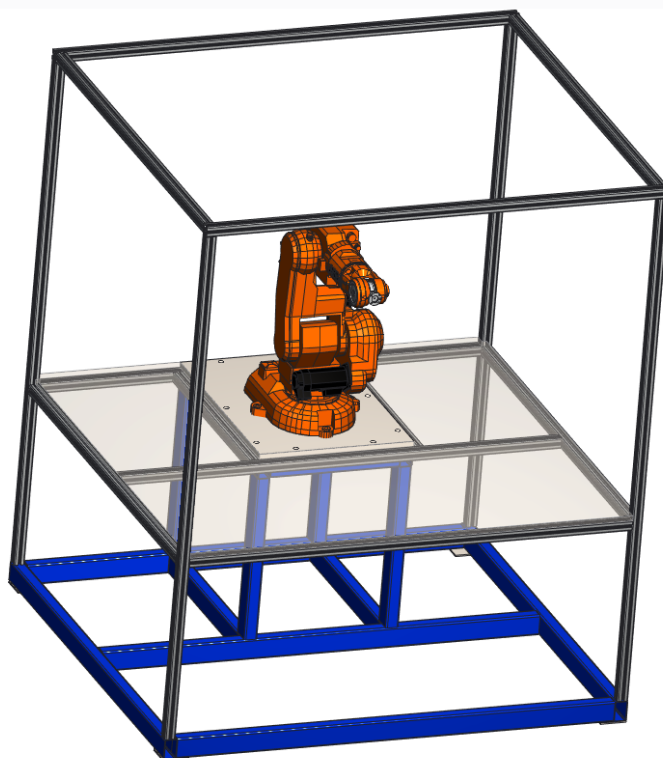
Od variant založených na čistě hliníkové konstrukci bylo ihned upuštěno. Všechny další varianty mají základní rám, který nese průmyslový robot, tvořený svařovanou konstrukcí z obdélníkových profilů 80 x 50 x 5 ČSN EN 10219-2 mat: S235JHR (11 375) a nástavby z hliníkových profilů ITEM řady 8.



Obr. 3-9 První varianta řešení pracoviště

3.3.2 Varianta II.

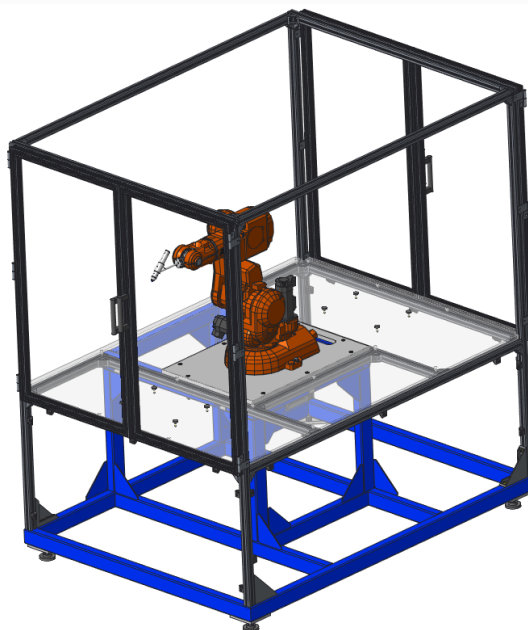
Tato varianta uvažuje samostatnou buňku s přístupem z jedné strany. Robot je ustaven v zadní části buňky. Buňka je dostatečně široká, aby nehrozila kolize efektoru se stěnou, rovněž ale vylučuje případnou kooperaci s robotem v sousední buňce.



Obr. 3-10 Druhá varianta řešení

3.3.3 Varianta III.

Ve třetí variantě je zohledněn požadavek katedry na přístup z obou stran tak, aby po dobu činnosti robotu na jedné straně mohla probíhat příprava na straně druhé. Tato idea sice zní logicky, ale doba činnosti robotu není příliš dlouhá a především příprava pracovního prostoru pro další práci je otázkou okamžiku. Taková koncepce dle mého názoru není perspektivní, což bylo zřejmé při srovnání, kdy je tato varianta pracoviště rozměrově větší. Navíc musí sestávat z dvojice dveří, bezpečnostních snímačů, pracovních přípravků atd., což by se velmi negativně promítlo do ceny.



Obr. 3-11 Třetí (oboustranná) varianta

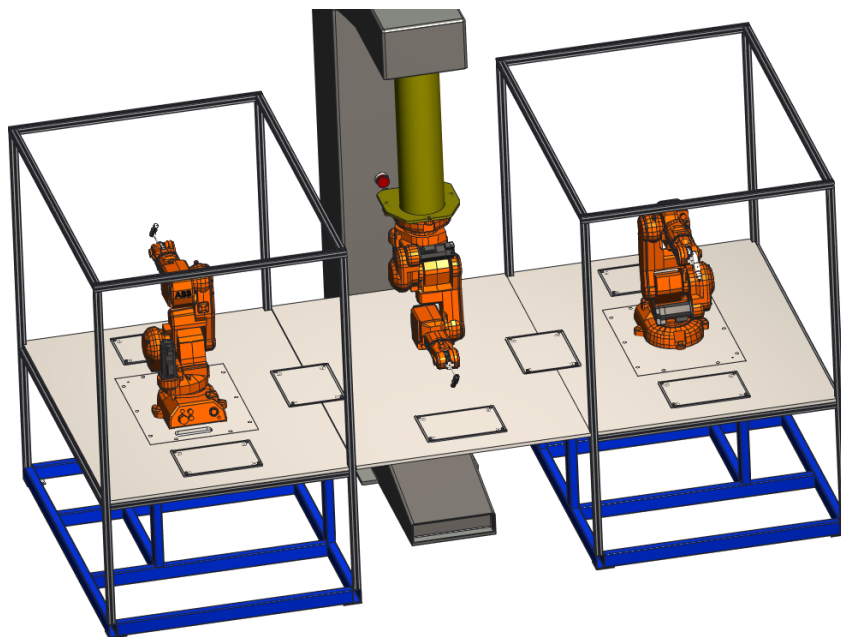
Další problém, který tuto variantu zcela vyřadil z výběru, je nemožnost otevření kritického prostoru v době automatické činnosti robotu. Takový pokus, pakliže by byl umožněn, by byl hrubým porušením všech bezpečnostních norem, které se zabývají bezpečností práce na automatizovaných pracovištích.

Z těchto důvodů se o oboustranném pracovišti dále neuvažovalo.

3.3.4 Varianta IV.

V této variantě se projevuje snaha o využití sloupu, který byl součástí původního pracoviště a v současné době stojí na původním místě nevyužit. Varianta uvažuje levou buňku, pravou buňku a mezi nimi vložený sloup, na kterém je zavěšen třetí robot, který má otočený souřadný systém robotu o 180°. Návrh, tak jak je zobrazen na obtázku níže, není úplný - hliníkové nástavby by byly spojeny tak, aby šla uzavřít i středová část.

Problematické by však bylo nejen spojení buňek, ale především implementace a kotvení svařovaného sloupu tak, aby se pracoviště dalo považovat za bezpečné. Další nevýhodou je koncepce sama. Standartní skupina studentů je tvořena přibližně 15 lidmi, kteří by se museli vměstnat z čela jednoho ztrojeného pracoviště. To by při šíři čtyř metrů nebylo příliš ideální, zhruba polovina lidí by do pracoviště neviděla a samotná práce by se pak stala poněkud nepříjemnou - studenti by se navzájem omezovali na tomto stísněném prostoru.



Obr. 3-12 Čtvrtá varianta

3.3.5 Souhrn

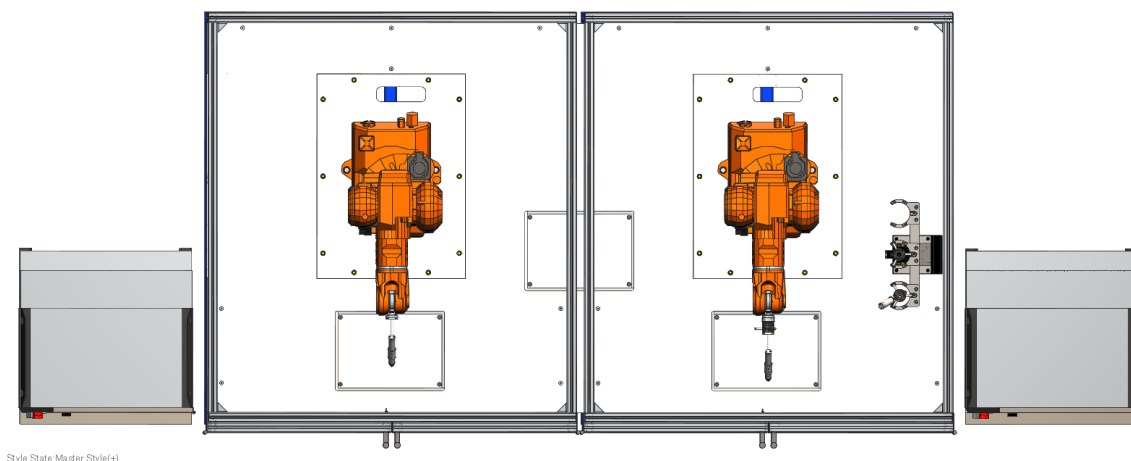
Rozhodnutí, zda bude realizována ta či ona varianta, nevzešlo ze žádné sofistikované metody výběru optimálního řešení, ale přímým rozhodnutím „zákazníka“, tedy katedry robotiky. Zvolená varianta je kompromisem mezi samostatně fungujícím pracovištěm a dvojnásobným pracovištěm. Umožňuje samostatnou práci i případné spojení více pracovišť z levé či pravé strany. Podrobně ji popisuje čtvrtá kapitola.

4 Konstrukce pracoviště

Na základě variant popsaných v předchozí kapitole byla realizována konkrétní řešení jednotlivých částí pracoviště. Tato kapitola je podrobně popisuje.

4.1 Popis konstrukčního řešení realizovaného pracoviště

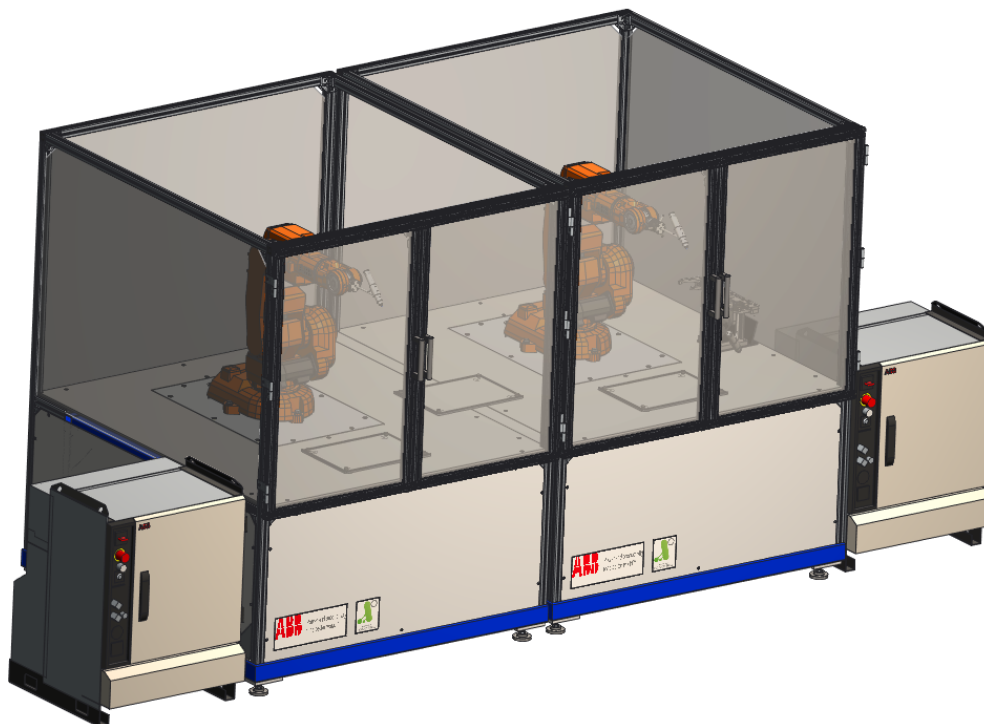
Všechny problémy a omezení, popsané v předchozích kapitolách, vedly k vytvoření univerzální buňky, která by mohla stát a fungovat samostatně, případně by umožnila připojení dalšího pracoviště z levé nebo pravé strany. To však znamená přijmout určitý kompromis. Modularita v tomto případě znamená umožnění kooperace dvou robotů ve funkci MultiMove. Robot z jedné buňky musí dosáhnout do buňky vedlejší. Při samostatném fungování pracovišť vlivem této podmínky hrozí kolize s ochranným polykarbonátovým krytováním.



Obr. 4-1 Layout pracoviště

Výsledkem je dvojice pracovišť, kdy je umožněno na každém pracovat zcela nezávisle, případně je spojit v jedno kooperaceschopné pracoviště. Ocelové rámy jsou spojeny k sobě navzájem pomocí závitových tyčí M12. Do této chvíle však bylo realizováno jen jedno pracoviště a výhledově se neuvažuje o stavbě druhého, především z finančních důvodů.

Pokud bude v budoucnu rozhodnuto o stavbě dalších pracovišť, s největší pravděpodobností nebudou totožné s níže popsaným. Z uvedené první stavby vyplynuly určité poznatky, jež by bylo vhodné u dalších projektů využít. Tyto poznatky jsou obsaženy v návrhu dvojbuňky, jež je detailně popsána v kapitole 6.



Obr. 4-2 zvolené řešení

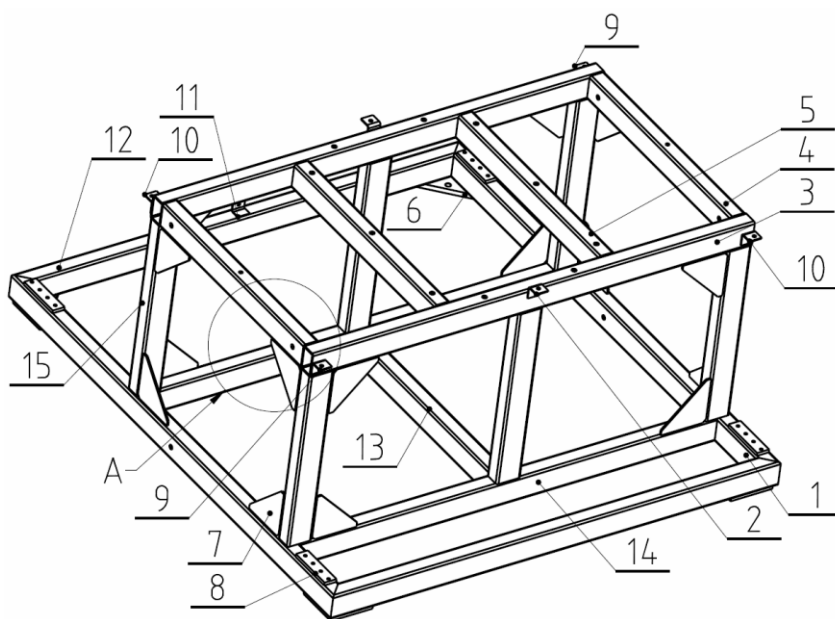
4.1.1 Rám - konstrukce

Rám je tvořen profily 80 x 50 x 5 mm EN10219 11 375 a vyztužen šestnácti žebry 150 x 150 x 5 mm 11 375. Je sestaven z celkem padesáti dílů a váží 191,5 kg. Vyroben byl v SKO v Opavě. Rám je natřen základovou barvou, viditelná spodní konstrukce pak barvou modrou. Nohy jsou šroubovány do trojúhelníkových návarků o tloušťce 15 mm. Proti tomuto je navařena destička se čtveřicí závitů M8 k připevnění konstrukce z hliníkových ITEM profilů. Na rámu je usazena ocelová deska pod robot, ta je ustavena na podložkách a upevněna deseti šrouby M12. Díky podložkám je možno ustavit desku do roviny, tj. vyrušit nepřesnosti rámu vzniklé pokroucením konstrukce při svařování.



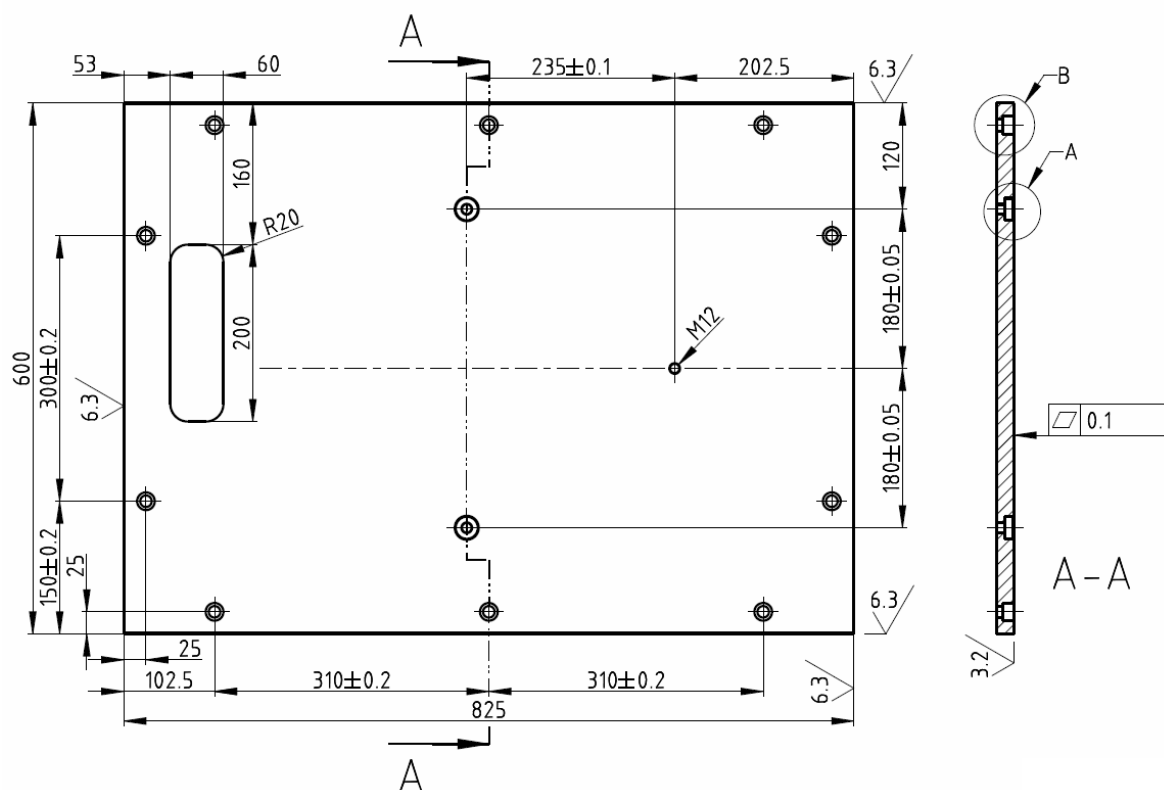
Obr. 4-3 Nosný rám realizovaného pracoviště

Samotná deska váží cca 75 kg při rozměru 800 x 600 x 20 mm. Je lakována černou barvou. S ohledem na snížení ceny je horní plocha obráběna na vyšší drsnost. Rovněž bylo upuštěno od původně uvažovaného materiálu - změna původní oceli 11 600 za 11 523 snížila celkovou cenu o 40 procent.



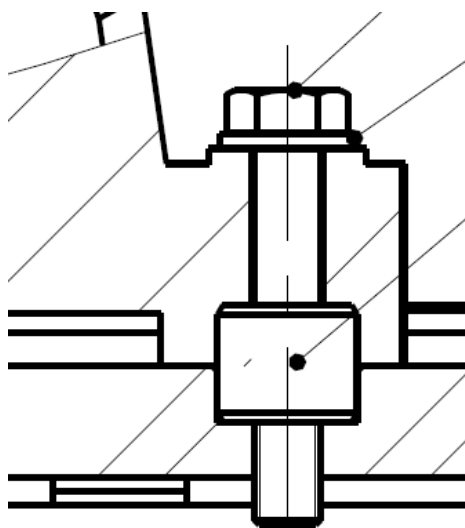
Obr. 4-4 Axonometrický pohled na svařenec rámu

V zadní části desky je vyfrézován otvor pro vyvedení kabeláže od základny robotu. Upevňovací šrouby jsou zapuštěny, deska je dále opatřena dvojicí zahloubení pro střižné vložky.



Obr. 4-5 Část výkresu desky

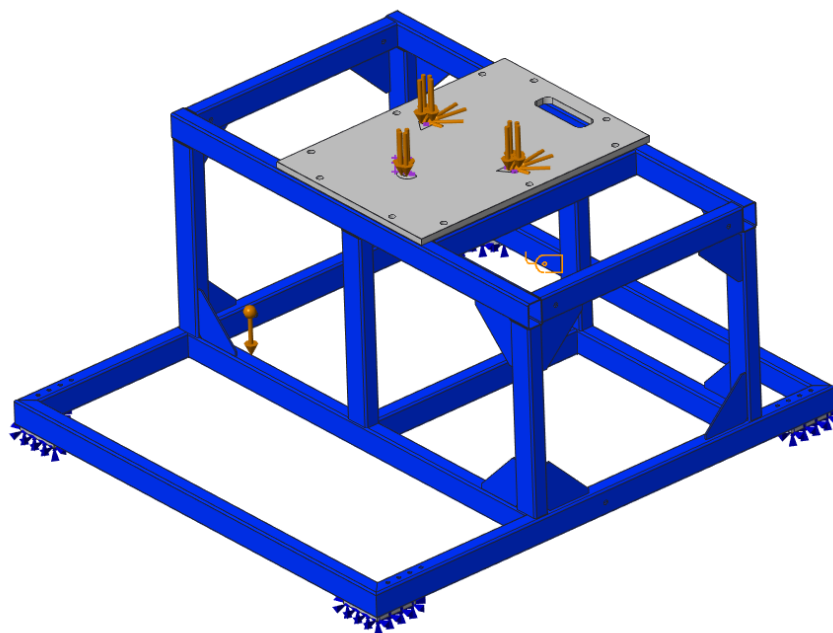
Robot je ustaven na ocelové desce, reakce vzniklé pohybem robotu zachycují dvě střižné vložky. Robot je kotven trojicí šroubů M12 x 70 ČSN021101 12.9 utažených na 110 Nm.



Obr. 4-6 Detail spojení deska/robot

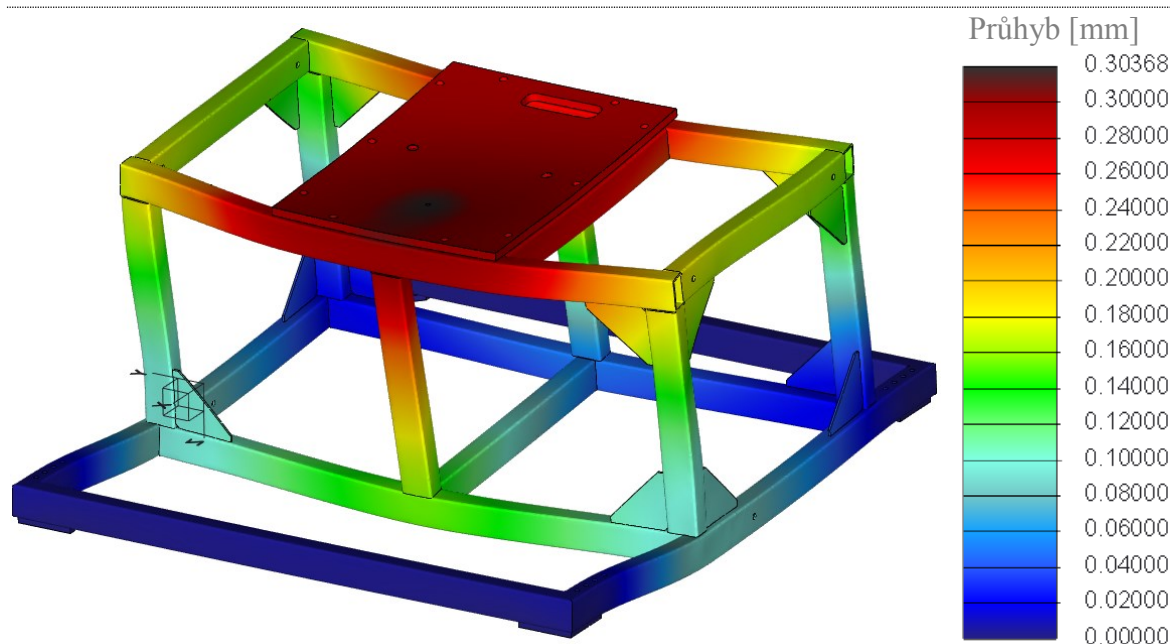
4.1.1 Rám – pevnostní analýza

Pro ověření nosnosti a tuhosti rámu byla provedena analýza v modulu simulate, softwaru Creo 3. Analýza byla definována pro celý rám, včetně desky, jež nese robot. V simulaci je zahrnuto statické působení robotu a maximální možné dynamické působení při „emergency stop“ zastavení.



Obr. 4-7 Definice akčních a reakčních sil na rám

Pro potřeby simulace je ustavení rámu zjednodušeno a reakční síly jsou definovány na celé ploše návarků, viz modré šipky ve spodní části obrázku 4–7. Nožky, na kterých je pracoviště ustaveno jsou zde tedy zanedbány. Akční působení je definováno na plochách v okolí trojice závitových děr, na kterých je robot kotven. Přední plocha zachycuje pouze gravitační působení robotu, dvojice zadních ploch navíc zachycuje reakce od dynamických pohybů robotu, a to pomocí střižných vložek. Maximální možné působení robotu na základnu je dle výrobce 2250N vertikálně a 2000N horizontálně (Situace, kdy dojde k nouzovému zastavení z maximální rychlosti a s maximální možnou nesenou hmotností). Při tomto zatížení, které však reálně nenastane pravděpodobně ani jednou za životní cyklus robotu (při použití na katedře robotiky) je rám zatěžován následovně, viz obrázek 4-8.



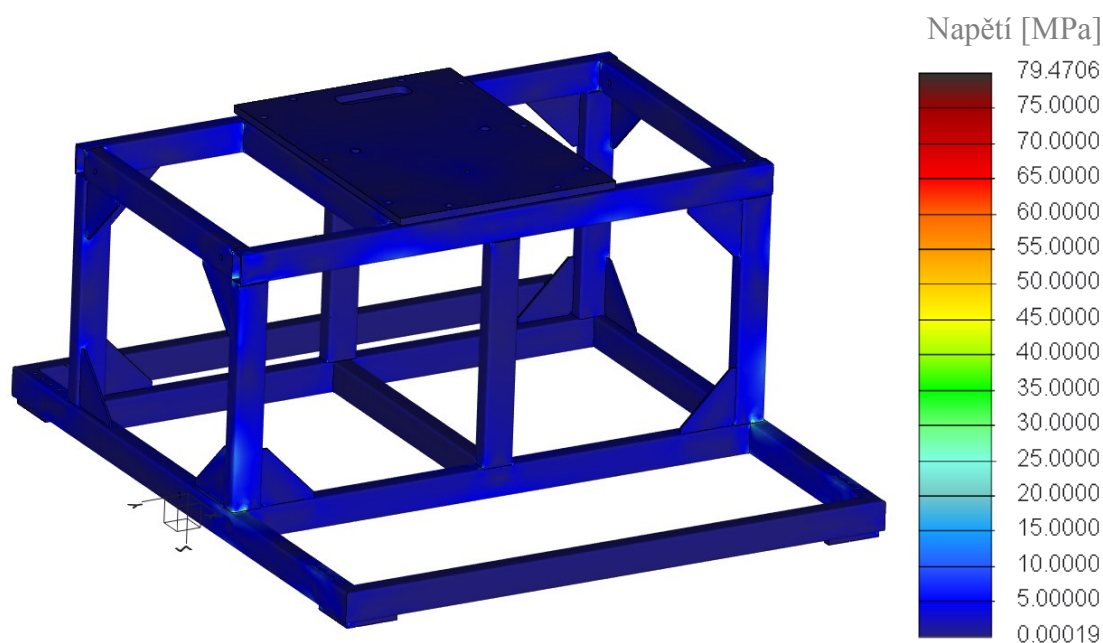
Obr. 4-8 Průhyb rámu při maximálním zatížení

Za nejhorších možných podmínek se rám prohne dle obr 4-8. Je zřejmé, že k největší deformaci dochází v místě předního kotvicího bodu robotu. Maximální hodnota průhybu při použití standardní konstrukční oceli 11 375 a za maximálního možného silového působení je 0,3mm. Reálné hodnoty průhybu rámu vlivem pohybu robotu se však dle mého názoru budou pohybovat na úrovni zhruba jedné šestiny této hodnoty. Je to dáno tím, že robot v buňce nejspíš nikdy nedosáhne maximální možné rychlosti, což je dáno charakterem použití na UCR, dále pak značná část průhybu připadá samotné hmotnosti robotu. Vliv dynamických účinků při pohybu robotu na průhyb rámu lze tedy považovat, v tomto konkrétním případě, za zcela zanedbatelný.

Napětí v rámu za výše popsanych podmínek se pohybují na úrovni 40 – 50 MPa viz obrázek 4-9 níže. Špičky napětí vznikají vlivem ostrých hran a vrubů, jež na reálném svařenci nejsou (místa svarů). Maximální napětí tedy nepřesáhne hodnotu 50 MPa to lze rovněž považovat za zanedbatelné.

V rámci návrhu rámu byla provedena simulace odlehčeného rámu, který byl sestaven z profilů o menší tloušťce stěny (tloušťka stěny byla 3mm namísto 5mm). Hodnoty maximálního průhybu a zatížení zhruba odpovídaly dvojnásobku hodnot rámu masivnějšího. Tyto hodnoty byly rovněž přijatelné, realizován byl však rám o tloušťce stěny 5mm. Na první pohled mohou obě simulované varianty rámu působit jako zbytečně předimenzované, těžké a tím pádem celkově nevhodné. Opak je však pravdou, Větší hmotnost je v tomto případě žádoucí, jelikož snižuje těžiště pracoviště a tedy zvyšuje jeho

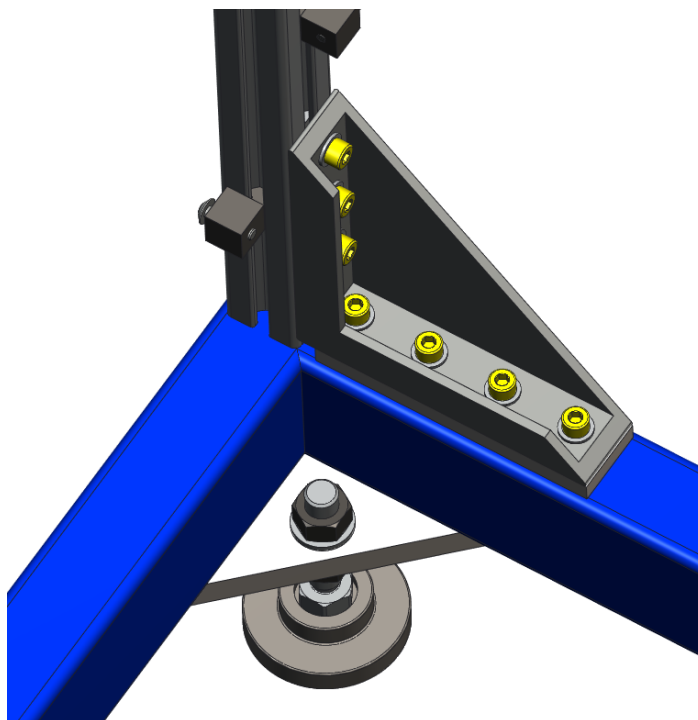
stabilitu. Profily o hrubší stěně však byly voleny především z výrobních důvodů, takto rozměrné konstrukce se při svařování mohou pokrivit, vlivem nerovnoměrného prohřívání v místech svarů. Realizovaný svařenec je vyroben s takovou pečlivostí, že horní desku robotu nebylo třeba vyrovnávat.



Obr. 4-9 Průhyb rámu při maximálním zatížení

4.1.2 Nástavba

Materiál na nástavbu byl dodán firmou ALVÁRIS, pracoviště bylo smontováno svépomocí na katedře robotiky. Výjimkou jsou dvířka, která byla dodána v již smontovaném stavu. Konstrukce je spojována pomocí úhelníků typové řady 8. Výhodou těchto úhelníků je, že nesvírají pravý úhel, ale úhel cca 85°. Pokud jsou použity dva úhelníky proti sobě, vzniká předepnutý spoj a konstrukce je výrazně tužší. Nástavba je kotvena ke svařovanému rámu, který je v daných místech vybaven návarky příslušného rozměru. Na spodním obvodovém rámu jsou navařeny závitové desky pro hliníkové úhelníky rozměru 160 x 160 x 40 mm. Tyto úhelníky drží vertikální nosné profily nástavby.



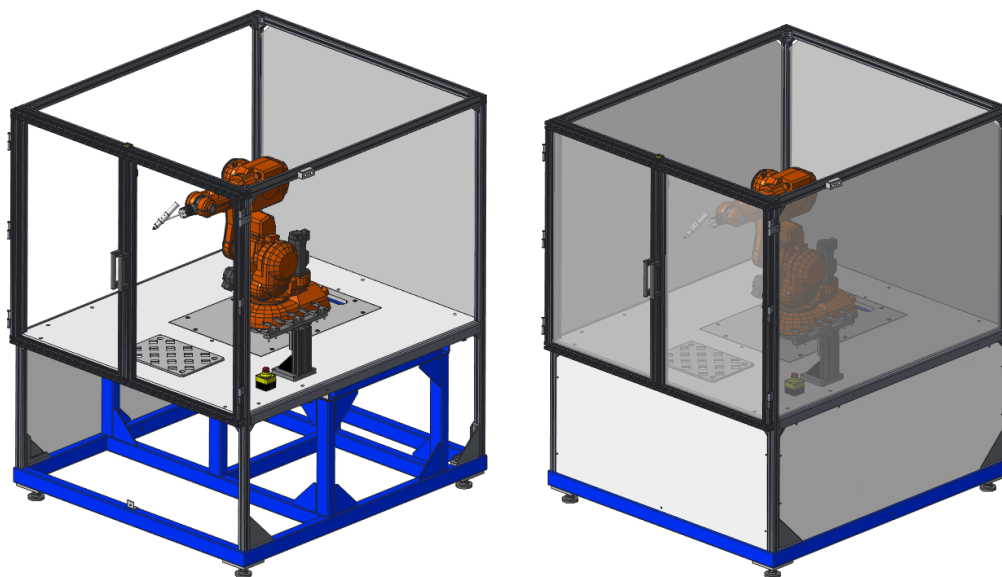
Obr. 4-10 Detail spojení nosných profilů se svařencem

Nástavba sestává z následujících prvků:

- ALU profily řady 8, 40 x 40 mm a 80 x 40 mm,
- boční krytování - čirý polykarbonát / bílý laminát tloušťka 4mm,
- deska stolu z bílého laminátu tloušťky 10 mm,
- 24 x úhelník 40 x 40,
- 4 x úhelník 160 x 160,
- 21 x multiblok PA (uchycení spodních krytů),
- 6 x pant (270°),
- 2 x madlo.

Pracovní deska tloušťky 10 mm je ze za tepla lisovaného laminátu. Je ustavena na hliníkových profilech a úhelnících navařených na základním rámu, viz obr 4-10. Boční čiré polykarbonátové kryty tloušťky 4 mm jsou upevněny ve vložce přímo v drážkách profilů. Toto řešení je vhodnější funkčně i esteticky. Alternativou je případné použití většího počtu multibloků PA (ITEM).

Spodní krytování je provedeno z bílého, za tepla lisovaného laminátu, tloušťky 4 mm. Kryty jsou upevněny na držácích multiblok PA (určeno pro drážkové hliníkové profily).



Obr. 4-11 Detail pracoviště bez a s krytováním

Panty dveří jsou voleny nestandardní, takové je však i zavěšení dvířek. Pokud by buňka stála samostatně, stačilo by dvířka „vložit“ do obvodového rámu, ve kterém by se otvírala v rozsahu do 180° . To by však komplikovalo práci a přístup většího počtu lidí, stejně tak by se navýšila šíře „sloupku“ mezi buňkami při jejich uvažovaném spojení, ten by zmenšil výhled na společný pracovní prostor. Z těchto důvodů bylo navrženo otevírání dvířek v rozsahu 270° (viz obr. 4-12) tak, aby při otevřeném stavu nijak neomezovalo přístup obsluhy.

Obr. 4-12 Detail 270° pantu a zarážky dveří

Dveře jsou osazeny západkou, která vymezuje, které křídlo se otevře jako první. Samovolnému otevírání dveří měla zabránit západka, standardně nabízená v portfoliu produktů výrobce ITEM, ukázala se však jako nedostatečná. Proto byly do každého křídla dveří zafrézovány dva magnety (viz obr. 4-13), jeden v horním a druhý v dolním profilu. Maximální přídržná síla magnetů je 135 N. Zhloubení pro magnety umožní případné

zapuštění magnetů hlouběji. Již mezera o rozměru 1 mm sníží přídržnou sílu magnetů o 80 %. Složitého středění magnetů však nebylo třeba. Přídržná síla 2 x 135 N se ukázala jako vhodná. K magnetům byl vytvořen ocelový (tedy magnetický) protikus, v podobě jednoduchého klínku, šroubovaný v drážce protilehlého profilu.



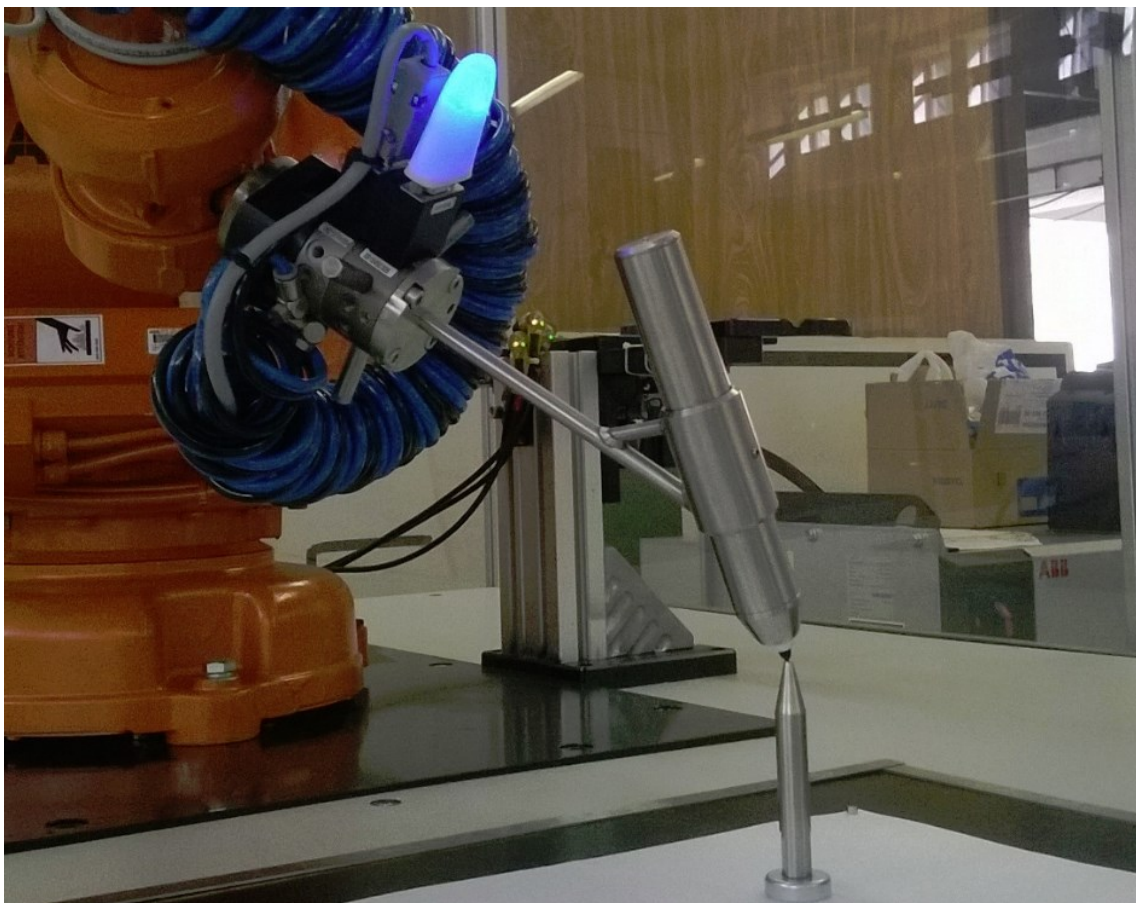
Obr. 4-13 Magnet, zapuštěný do profilu dvířek

4.2 Realizované efekторы

Pracoviště, vybavené systémem automatické výměny nástrojů, je osazeno třemi různými efektory, popisovačem, dvoučelistovým pneumatickým chapadlem a efektoem pro kopírování trajektorie.

4.2.1 Popisovač

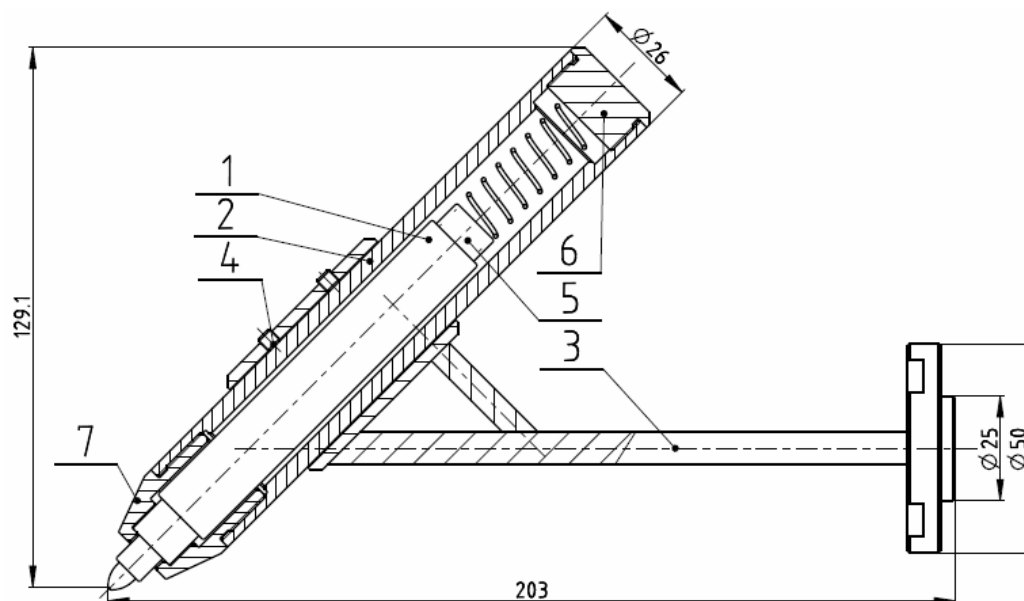
Efektor je vyroben z nerezové oceli, jeho povrch je vyleštěn, držák je svařen, vybroušen a rovněž leštěn. Uvažovaná pružina je nahrazena molitanovým válcem. Pružiny potřebných rozměrů a vlastností jsou velmi nestandardní a molitan svůj účel plní dostatečně. Životnost molitanové výplně za podmínek provozu na UCR je zhruba jeden semestr, poté je třeba výplň vyměnit.



Obr. 4-14 Reálný efektor

Je nezbytné, aby byl fix odpružen. Vytvoří se tím určitý prostor pro chybu a prodlouží se životnost fixu. Dle zadání, tj. požadavku na možnou „rozvolnitelnost efektoru“, je těleso popisovače vloženo v držáku a je mu umožněn pohyb v určitém daném rozsahu. Díky této možnosti bude žák nucen provést kalibraci TCP (tool center point) nástroje před samotným programováním. Zvládnutí této základní úlohy je nezbytné v případě řešení pravděpodobných problémů v praxi, kdy stačí drobná kolize robotu s okolím, případně výměna např. čelistí efektoru, a robot je rázem neschopen plnit definované úlohy.

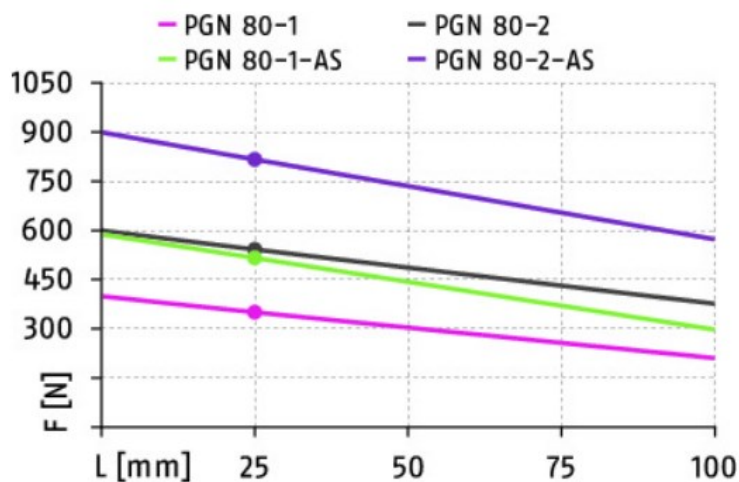
Efektor je upevněn na přírubě systému automatické výměny nástrojů SHUNK, pro další RTP je připraven další efektor s odlišnými montážními otvory a zahloubením, který bude natrvalo fixován přímo na přírubě robotu.



Obr. 4-15 Řez popisovacím efektozem

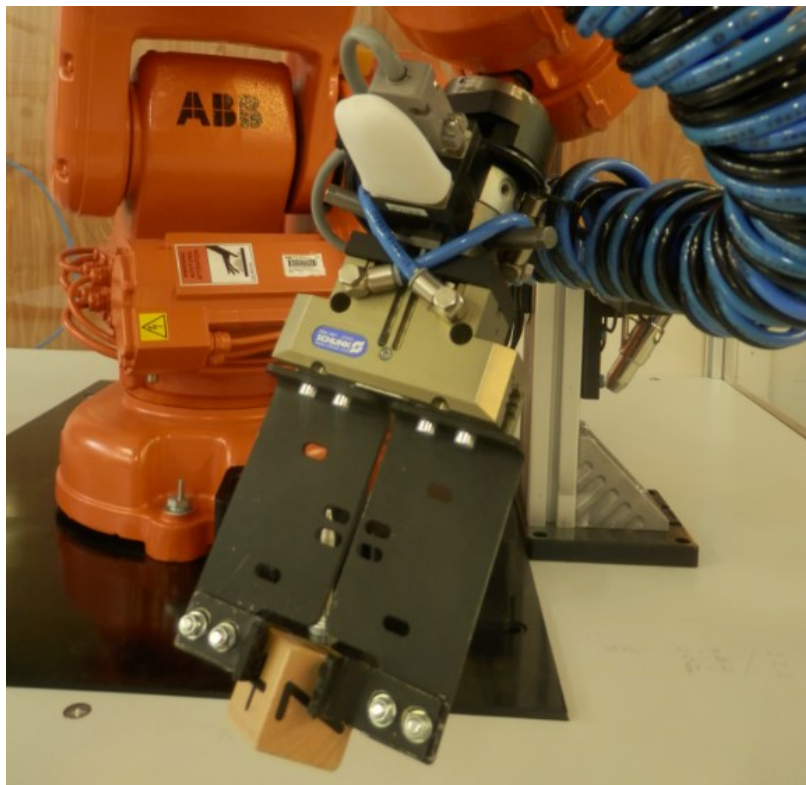
4.2.2 Chapadlo

Pro manipulační úlohy je užito dvou čelistové pneumatické chopadlo SHUNK PGN + 80/1. Chapadlo je pomocí mezikusu šroubováno na přírubu automatické výměny nástrojů. Dále může být osazeno indukčním snímačem, snímajícím krajní polohu vnitřního pístu. Dle toho lze řídicí systém informovat o sevření, případném nesevření čelistí. Indukční snímač MMSK-P 22-S-PNP lze ustavit v drážce, v tělese chapadla. Snímač je napájen na konektor D-SUB HD15M tak, aby jej bylo možné připojit na konektorové pole příruby. Za samotným snímačem v podobě drobného kovového válečku, následuje plastové tělísko s dvojicí LED signalizujících polohu vnitřního pístu. Snímač snímá obě krajní polohy. Nyní je však konektorové pole chapadla osazeno signalizačním majákem.



Obr. 4-16 Svěrná síla

Z grafu je zřejmé, že při délce čelistí 100mm vychází při maximálním tlaku maximální svěrná síla na zhruba 190 N maximálního provozního tlaku, však v chapadle užito není. Čelisti byly vyrobeny již dříve z plechu. Jedinou úpravou, v rámci této diplomové práce tedy bylo přepájení snímače a přepojení pneumatiky.

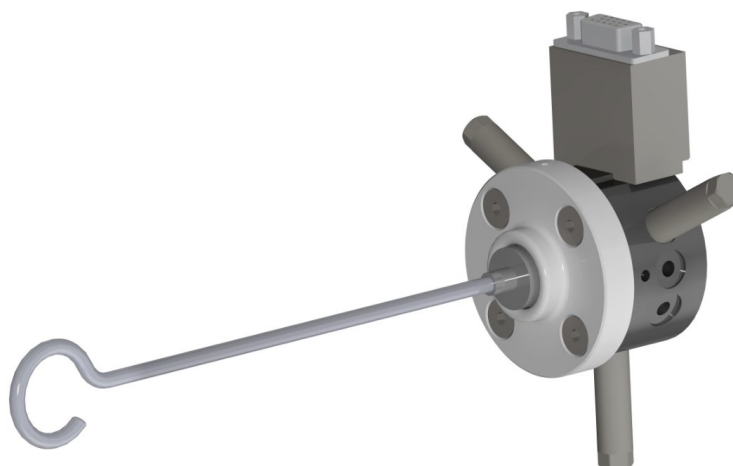


Obr. 4-17 Chapadlo s příslušenstvím na robotu

4.2.3 Efektor pro pomůcku „Horký drát“

Tento efektor poslouží k procvičení schopnosti ovládat robot ručně, fungovat může jediné s pomůckou „horký drát“, jejíž princip je popsán v příslušné kapitole 4.3.4.

Samotný efektor tvoří příruba SHUNK SWS005 s konektorovým polem. Na něm je přišroubováno těleso z polykarbonátu s osazením, jehož dno je vyplněno ocelovou destičkou, jež je spojena s konektorovým polem a slouží jako uzemnění. Do osazení se vloží tyčinka, na níž je šroubován magnet, tím je zaručeno pevné spojení, jež však v případě kolize umožní bezproblémové a bezpečné odpojení tyčinky od robotu. Orientace tyčinky však zůstává na obsluze. Pro správné natočení jsou jak na magnetu, tak na tělese, rysky. Spoj, jenž by vymezoval i natočení, by byl příliš komplikovaný.

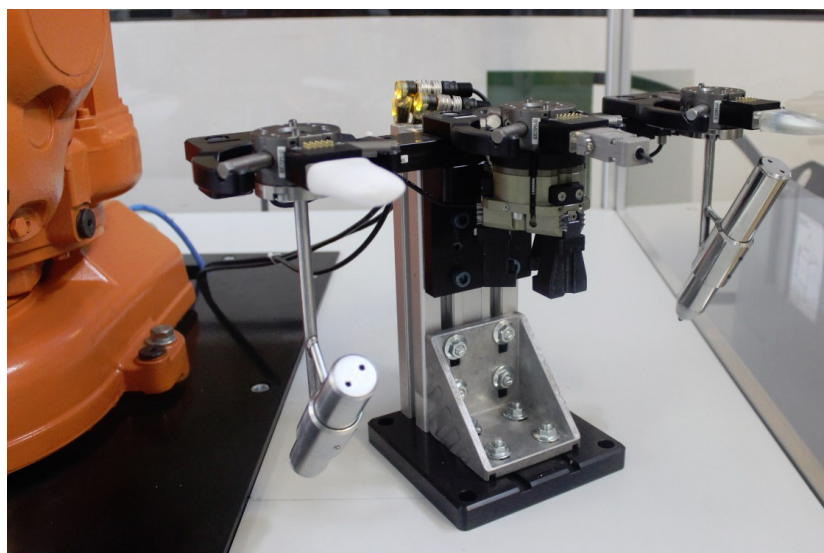


Obr. 4-18 Efektor k pomůcce „horký drát“

4.2.4 Držák nástrojů

Tento stojan, resp. držák nástrojů, umožňuje automatické odebrání a zakládání nástrojů robotem. Aby to bylo možné, je držák vyroben velmi přesně z hliníkových částí. Celý stojan je velmi robustní, měl by být dimenzován tak, aby přežil zásah robotem o menší nosnosti bez větší úhony. Každá ze tří pozic je vybavena indukčním snímačem polohy. Díky nim má řídicí systém informaci, zda je daná pozice volná či nikoliv.

Tento stojan dodává výrobce SHUNK jako příslušenství k systému automatické výměny nástrojů řady SWS. Kompatibilita jednotlivých prvků je tedy zaručena výrobcem.



Obr. 4-19 Držák nástrojů

4.3 Pracovní pomůcky

Tato kapitola popisuje všechny další pomůcky, jež lze využít pro výuku nebo k prezentačním účelům.

4.3.1 Kalibrační trn

Pro umožnění přesnějších definicí TCP (středový bod nástroje) byl vytvořen jednoduchý kalibrační trn. Sestává ze základny tvořené magnetem a nerezového trnu, který je do základny šroubován.

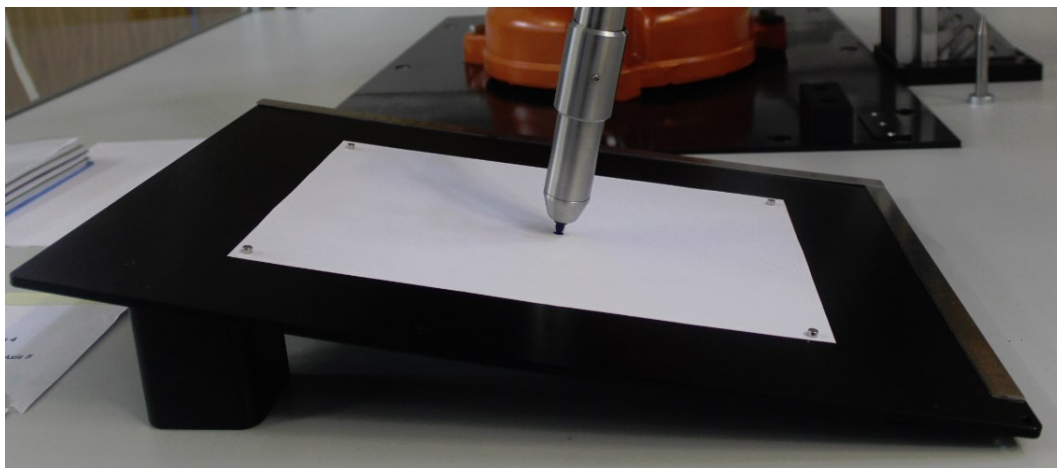
Obsluha ustaví trn na vhodné místo a může pohodlně definovat TCP nástroje.



Obr. 4-20 Kalibrační trn

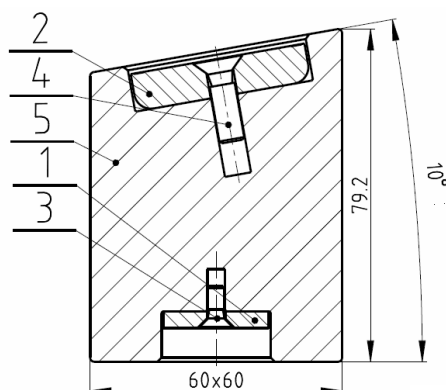
4.3.2 Pracovní deska

Pracovní deska je ocelová o rozměru 460 x 340 x 4 mm. Celá deska je lakována černou barvou, jež je odolná proti oděru. Na desce jsou nalepena kovová pravítka výrobce KIPP. Na desku lze uchytit papír až do formátu A3, k tomu postačí 4 – 6 malých neodymových magnetů.



Obr. 4-21 Pracovní deska, vyosení o 10° kolem osy x souřadného systému robotu

Deska se ustavuje do buňky na čtyři magnety K0549_05B o přitažné síle 40 N. Dále je možno desku ustavit se sklonem 10° na delší nebo kratší stranu. K vychýlení slouží přípravek vytvořený metodou 3D tisku. V horní části sloupku, na kterou se pokládá deska, je zapuštěn magnet Neomag UM005 průměru 42 mm s přitažnou silou 370 N. Magnet je zapuštěn hlouběji do přípravku, čím je možno redukovat přitažnou sílu, jíž je deska držena. Se vzrůstající vzduchovou mezerou totiž přitažná síla klesá exponenciálně. Ukázalo se, že mezera 3 mm je ideální.



Obr. 4-22 Přípravek k vyosení desky

Přípravky se usazují do buňky na vestavěné magnety z důvodu částečného vymezení ideální polohy pracovní desky a především pro rovinnou fixaci. Přípravek je polykarbonátový, tedy není magnetický. Pro snazší a bezpečnější práci je ve spodním zahloubení vsazen ocelový díl, na který dosedá magnet v buňce. Ten pak přípravek drží na svém místě.



Obr. 4-23 Dostupné přípravky (dva nasazený na magnety v buňce)

Na obrázku výše jsou v popředí magnety fixované v buňce, v pozadí pak jeden pár přípravků – jeden s přídržným magnetem (vlevo) a podpěra (vpravo). Na levé straně obrázku jsou pak v řadě za sebou vyskládány zbývající přípravky, jež jsou k dispozici.

4.3.3 Zásobník kostek

Pro realizaci úloh zaměřených na manipulaci s dřevěnými kostkami bylo třeba vytvořit zásobník, jenž by bylo možné ustavit do definované polohy. Navržený zásobník je na první pohled poněkud komplikovaný. Důvodem je snaha o co možná nejširší možné využití tohoto prvku.

Zásobník obsahuje celkem 16 pozic, v nichž jsou kostky ustaveny s jistou vůlí a otočeny o 45°. Jednotlivé řady se liší počtem pozic, lze zde tedy řešit například sudost a lichost odběrných míst apod.



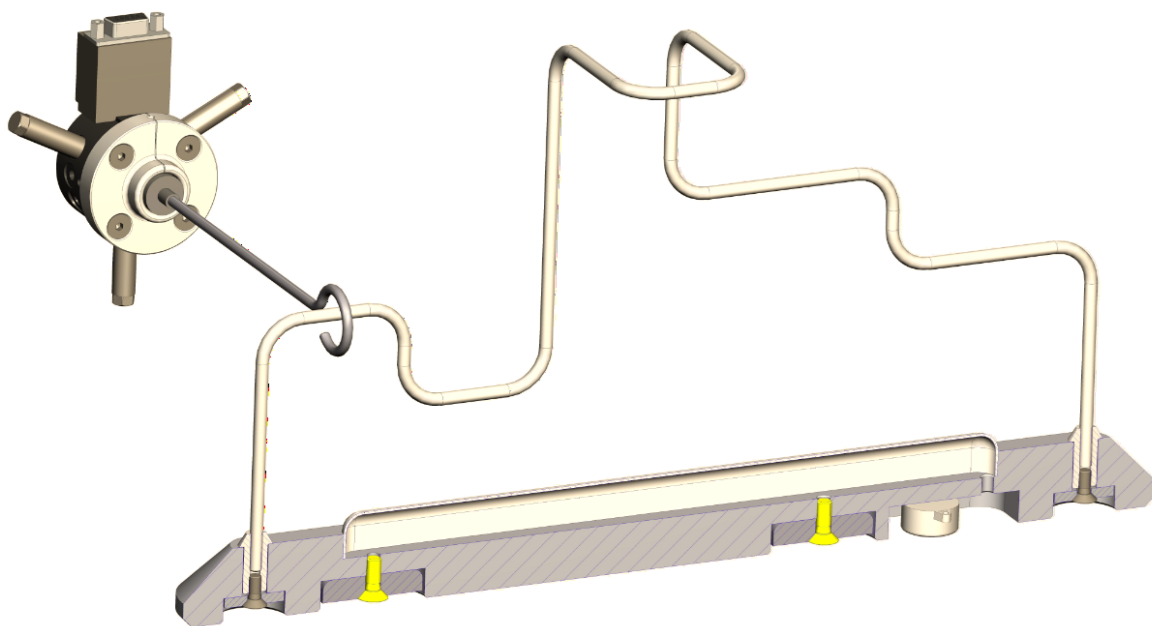
Obr. 4-24 Zásobník kostek

Celý zásobník je vytvořen z duralové desky, v níž jsou vhodně odfrézované čtvercové otvory rozměru 40 x 40 mm. Pozice jsou očíslovány, popis je gravírován do povrchu. Desku lze pevně fixovat čtveřicí šroubů M5 DIN7991 v rozích, případně volně ustavit na magnety v pracovišti. Vůle při tomto ustavení je minimální.

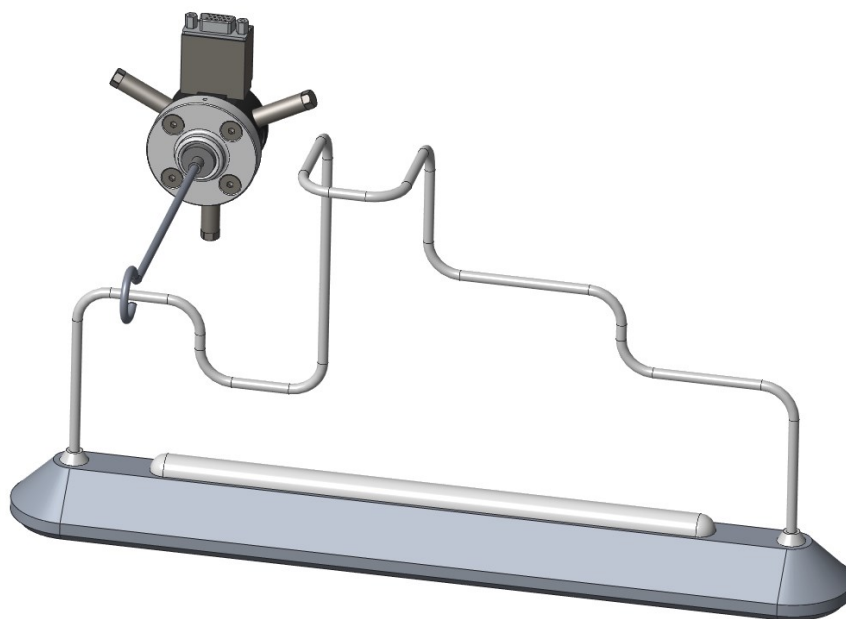
4.3.4 Pomůcka „horký drát“

Tato pomůcka poslouží pro zpestření výuky a k procvičení ručního ovládání robotu. Díky ní je mnohem zřetelnější rozdíl mezi souřadným systémem robotu a nástroje. Student se pomocí této pomůcky naučí souřadné systémy vhodně používat. Na rozdíl od kreslení

popisovačem v rovině, v tomto případě není možné křivku projet za použití jediného souřadného systému.



Obr. 4-25 Horký drát - řez



Obr. 4-26 Horký drát

Pomůcka funguje následujícím způsobem. Student nasadí efektor k robotu a najede na drát přípravku tak, aby osa drátu procházela osou smyčky na konci efektoru. Poté musí projet od jednoho konce na druhý, aniž by se dotkl smyčkou drátu. Uvnitř základny je umístěn LED pásek a bzučák. Tyto „spotřebiče“ jsou připojeny na +24 V. GND pól je uzemněn v základně. Sama základna je však ustavena v buňce, jejíž pracovní plocha je

z lisovaného laminátu, ten je nevodivý a přípravek tudíž není uzemněn. Smyčka efektoru uzemněna je. Pokud dojde k dotyku smyčky a drátu, dojde k uzavření obvodu, bzučák začne signalizovat a LED pás rozsvítí horní část základny červenou barvou. K rozptylu světla z LED pásu slouží krytka vytvořená 3D tiskem z bílého polykarbonátu. Tato metoda rozptylu byla ověřena u signalizačních majáčků a funguje uspokojivě. Uzemnění je vedeno z efektoru do custommer connections kabeláže na rameni robotu, +24 V je přivedeno kabelem z kontroléru a připojeno konektorem Jack 3,5 mm. Tento audio konektor je volen z důvodu nízké ceny a dobré dostupnosti, odolnosti a snadné instalace.

4.4 Pneumatické prvky pracoviště

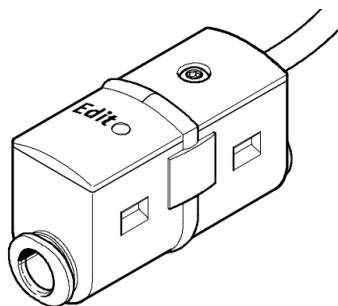
Stlačený vzduch je v pracovišti užít pro dva účely – svírání / rozevírání čelistí a výměnu nástrojů, která je realizována trnem s rozpěrnými kuličkami, které jsou vytlačovány vnitřním pístem. Pro zajištění těchto funkcí je požadováno minimální množství vzduchu (válce v trnu a chapadlu jsou drobné a malého zdvihu), zato je však vyžadován tlak v rozsahu 4,5 – 7 bar. Při nižším tlaku hrozí, že nebude možné přestavit ventily (zjištěn minimální provozní tlak 2,1 bar), a především nebude zaručena tuhost spojení trn / příruba automatické výměny.

Stlačený vzduch je generován blíže neurčeným kompresorem, umístěným mimo místnost UCR (univerzitní centrum robotiky). V této místnosti je pouze otočný dvoupolohový přepínač, který se nachází na dveřích rozvodné skříně.

Stlačený vzduch je veden centrálními rozvody až k pracovišti. Zde prochází přes kohout do úpravny stlačeného vzduchu, ta sestává z částicového filtru s jemností filtrace 5 μm , dále z odlučovače kondenzátu, redukčního ventilu a manometru.

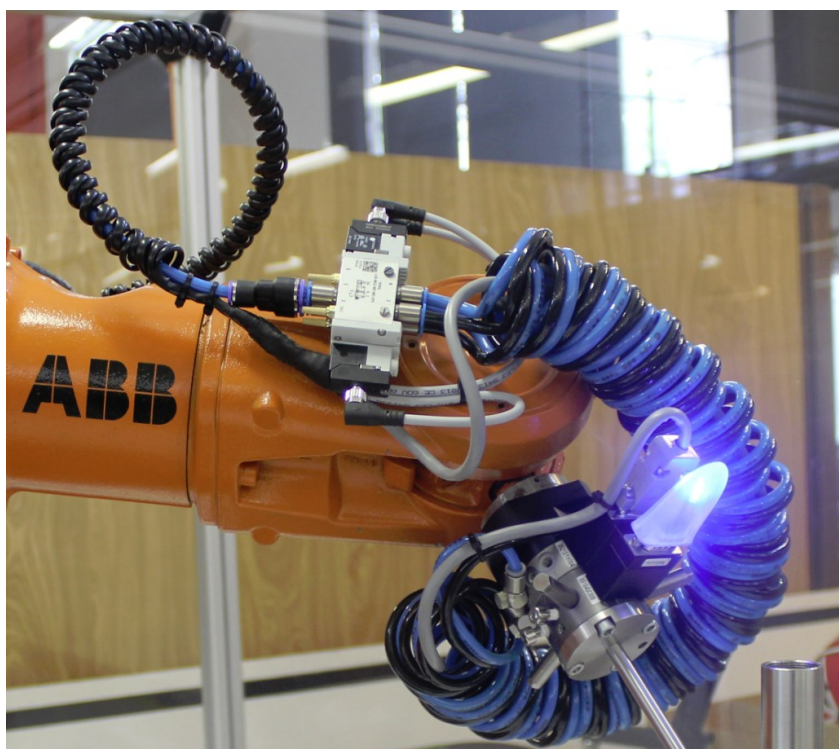
Odtud již upravený stlačený vzduch o známém tlaku pokračuje do robotu, do kterého vstupuje ze zadní strany základny vedle vývodů kabelází.

Přítomnost stlačeného vzduchu je hlídána senzorem tlaku FESTO SDE5. Tento senzor nese bezpečnostní okruh superior stop, dokud není přítomný tlak alespoň na úrovni 3 bar. Tímto je ošetřena možnost rozběhu pracoviště s vypnutým kompresorem, která vede ke kolizi robotu a držáku automatické výměny nástrojů. Připojení prvku, který není proveden v bezpečnostní (dvou – kanálové) úrovni, na bezpečnostní okruh, byť zcela nezávislý, není úplně šťastné řešení. Na druhou stranu zde však nehrozí zranění ani v případě nefunkčnosti tohoto senzoru. Hlavním důvodem pro tuto volbu byla cena, která je v případě bezpečnostních tlakových snímačů značná. Senzor je připojen hned za úpravnu vzduchu na samostatné větvi (rozvětveno fitinkou).



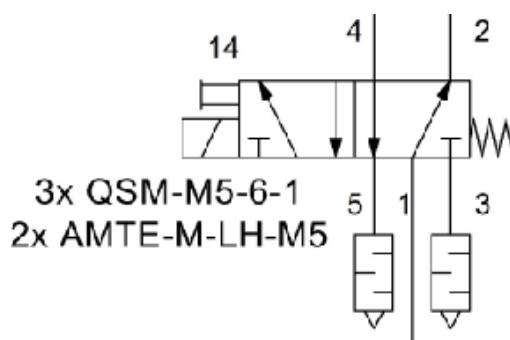
Obr. 4-27 Náskres senzoru FESTO SDE5 (8)

Pro zajištění požadovaných funkcí byly vybrány ventily FESTO VUVG L10 M52 MT M5 U 1H2L (5/2) pro funkci výměny nástrojů a VUVG L10 P53C T M5 U 1H2L (5/3) pro ovládání nástroje. Tyto ventily jsou uchyceny na pravé straně orientačního ústrojí robotu. Uchyceny jsou na duralovém dílu.



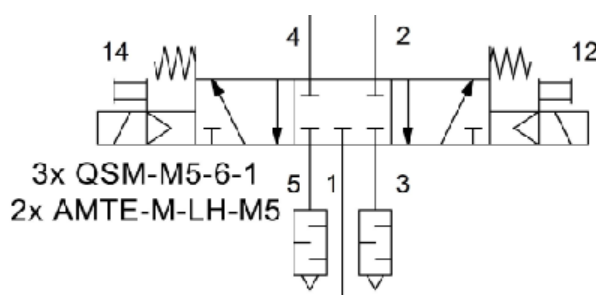
Obr. 4-28 Současné řešení s ventily FESTO

5/2 ventil výměny nástrojů je jedno-cívkový, výchozí poloha – „otevřeno“ – je zajištěna mechanickou pružinou.



Obr. 4-29 Ventil pro ovládání výměny nástrojů (9)

5/3 ventil pro ovládání nástroje je dvou-cívkový. Střední uzavřenou polohu vymezují pružiny.



Obr. 4-30 Ventil pro ovládání nástroje (9)

Oba ventily jsou vybaveny pomocným pneumo-mechanickým ovládáním. To umožňuje ruční výměnu nástroje (nebo sevření čelistí) i při vypnutém kontroléru, respektive bez využití cívek, jen s využitím tlaku. Cívky jsou odnímatelné, na tělese ventilu drží pomocí jednoho šroubu. Cívky jsou ovládány 24 V a jejich vývodem je konektor M8/3 pin. Funkční jsou pouze dva piny (24 V a GND, resp. + a -).



Obr. 4-31 Detail ventilů FESTO, jedna z cívek je sepnuta.

Stlačený vzduch je dále veden až do trnu automatické výměny nástrojů v krouceném svazku čtyř hadic PUN6, kalibrovaných na vnější průměr. Všechna spojení jsou realizována nástrčným šroubením QS6.

Přívod vzduchu k ventilům je řešen jednou hadicí o vhodné délce smyčky volené tak, aby ani na limitních úhlech natočení ramen nehrozilo vytržení hadic z nástrčného šroubení. Hadice je před ventily rozdělena na dvě větve spojkou PY-6.

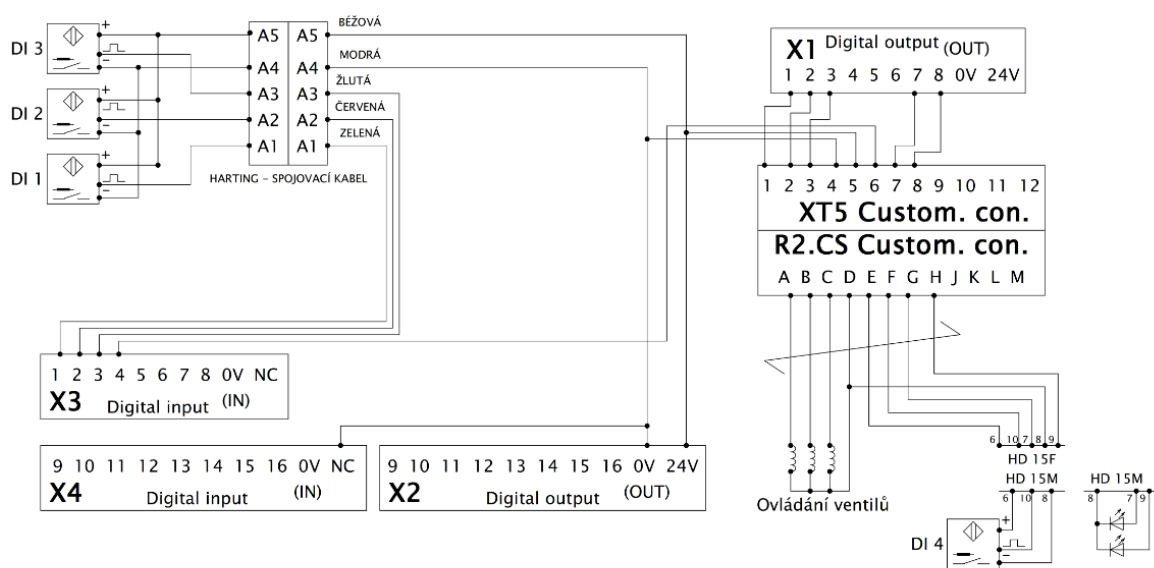
Odpadní vzduch vychází přes tlumiče, snížení hluku je značné.

4.5 Elektroinstalace

Elektroinstalace celého pracoviště byla řešena svépomocí na katedře. V první fázi bylo třeba demontovat automatickou výměnu nástrojů a s ní související senzorku z předcházejícího pracoviště, kde nebyla užívána.

S tím souvisela i revitalizace tohoto pracoviště, především pak výroba nové customer connection kabeláže, kterou zajistil pan Ing. Jan Babjak, Ph.D.

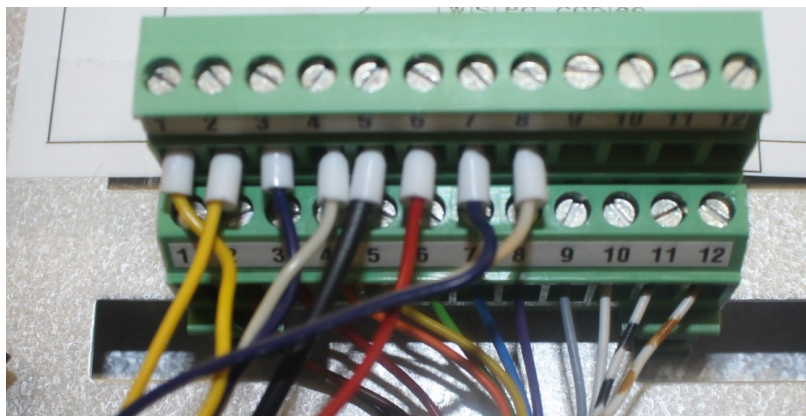
4.5.1 Zapojení Customer connections



X1, X2, X3, X4: Svorkovnice I/O modulu ABB DSQC 652

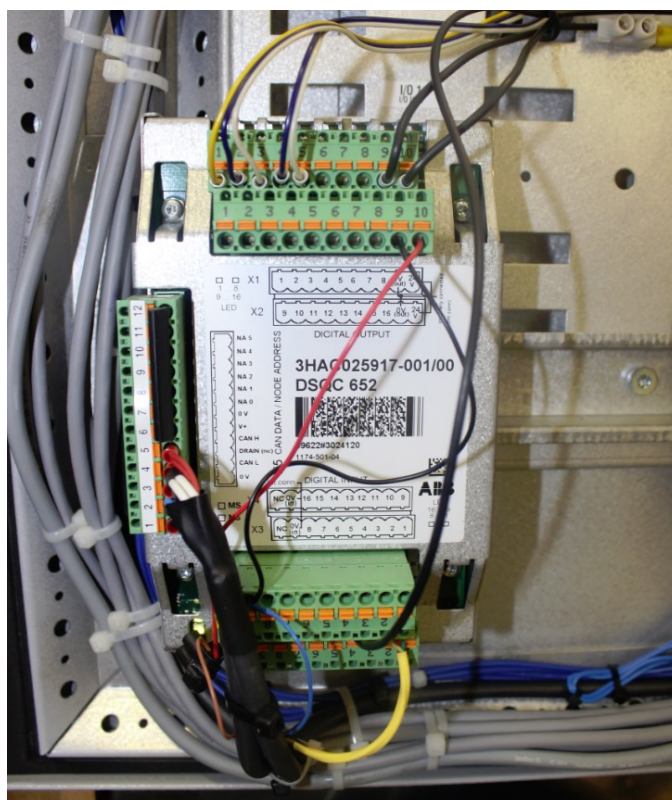
Obr. 4-32 Customer connections

Customer connections sestávají z množství digitálních vstupů, výstupů, GND a napájecích vodičů. Tyto jsou svedeny po horním rameni robotu, případně vnitřními prostory buňky.



Obr. 4-33 Vyústění customer connections uvnitř kontroléru

Na robotu jsou ovládány ventily pomocí trojice cívek, tedy 3 x 24V DO, dále 2 x LED (2 x 24V DO) a konečně indukční snímač v chapadlu (1 x DI, 1 x 24V). Pro všechny spotřebiče je společná jedna zem (GND). K těmto se přidávají tři indukční snímače z držáku nástrojů, tedy 3 x DI, 3 x 24V a 3 x GND. Všechny tyto vodiče jsou svedeny do kontroléru a připojeny k DI/O modulu DSQC 652.



Obr. 4-34 DSQC 652 DI/O modul

Modul DSQC652 je opatřen šestnácti digitálními vstupy a šestnácti výstupy. Všechny V/V jsou opticky odizolovány. Vnitřní logika modulu je napájena 24 V. Výstupy však napájeny nejsou. K napájení je třeba využít napájecí svorku nebo pomocnou WAGO svorkovnici umístěnou vedle modulu DSQC.

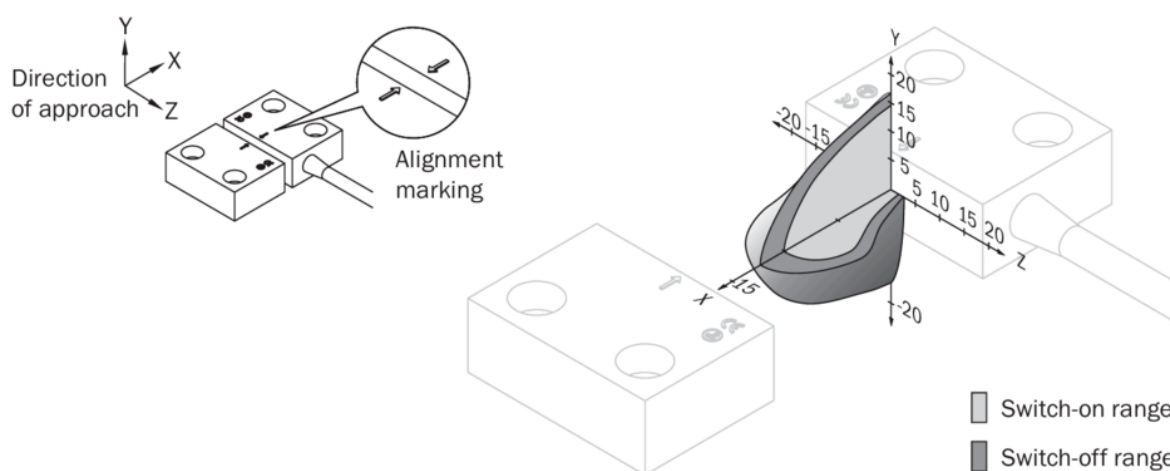
4.5.2 Zapojení bezpečnostních okruhů

V pracovišti jsou využity dva bezpečnostní okruhy. Okruh Emergency STOP, na kterém jsou napojena dvě STOP tlačítka a okruh AUTO STOP, ten využívá magnetický snímač dveří SICK RE13 SAC v automatickém pracovním režimu robotu.

Emergency stop znamená, že se v případě rozpojení rozpojuje i obvod rozpínající magnetické brzdy jednotlivých servo-pohonů. Kromě zastavení chodu servo-pohonů se tyto navíc „zablokují na brzdách“, což vede k rychlému zastavení v případě stavu nouze. Takto rapidní zastavení má však velmi nepříznivý vliv na životnost mechanické struktury robotu. Použití tohoto okruhu tedy náleží nouzovým situacím, kdy je v sázce zdraví a život člověka.

Zbylé okruhy zastaví robot kontrolovaným dobrzděním, které je však také velmi rychlé. Robot je však ušetřen značného rázu, jelikož brzdy v tomto případě nejsou k brždění využity.

SICK RE13 SAC je jednoduchý, odolný spínací magnetický snímač, provedený v bezpečnostní (dvoukanálové) úrovni. Je opatřen konektorem M8 4Pin.

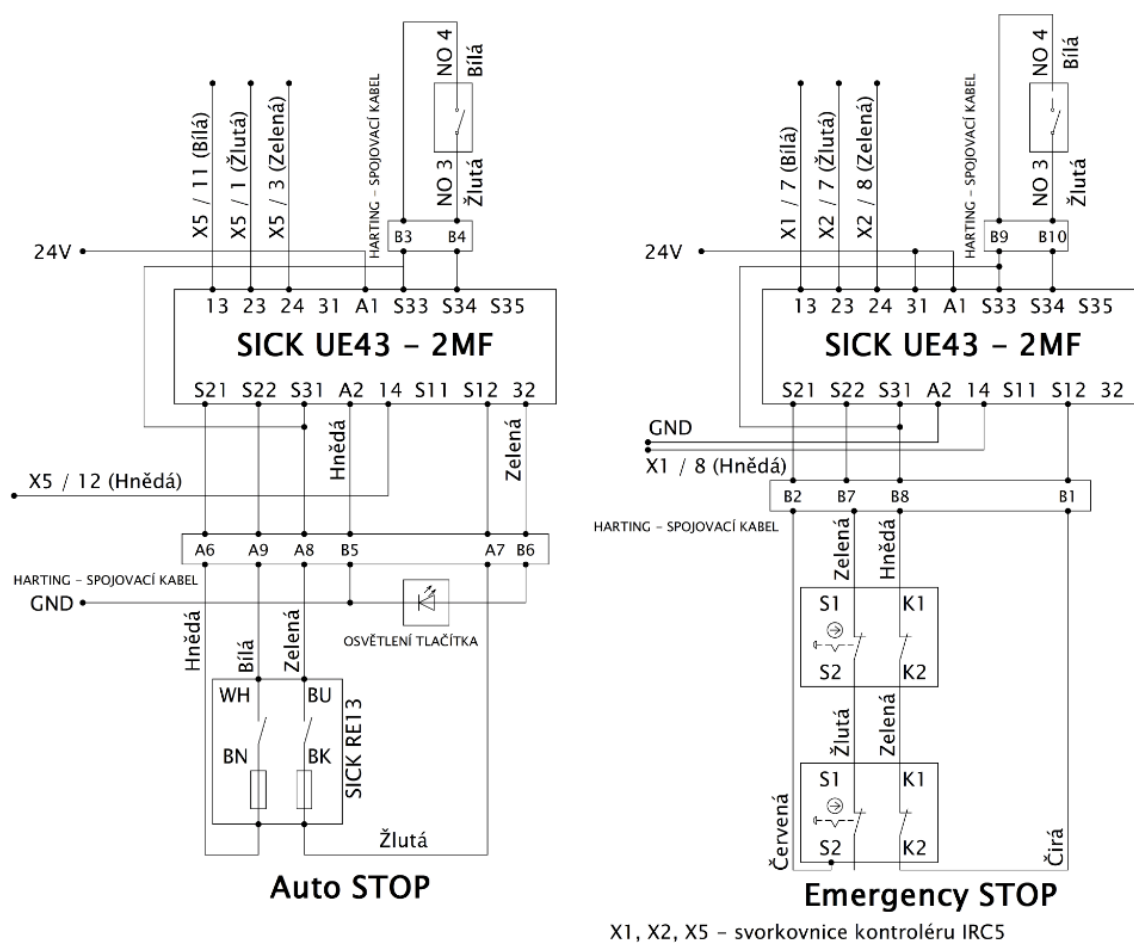


Obr. 4-35 Oblast detekce snímače RE13 (10)

Každý okruh je vyhodnocován vlastním spínacím bezpečnostním relé SICK UE43. Toto relé vyhodnocuje dva nezávislé bezpečnostní okruhy, při zapnutí a po případném rozpojení je třeba relé ručně resetovat. K resetování obou relé je užito tlačítko, umístěné v čelním krytu pracoviště. Tlačítko je podsvícené červeně, pokud je alespoň jedno relé rozpojeno, tak svítí.

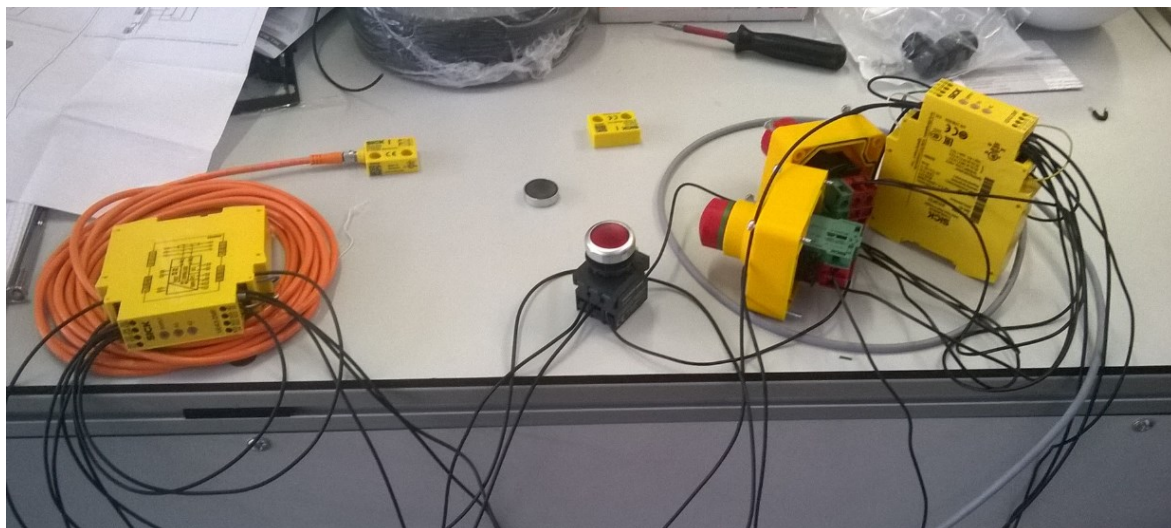


Obr. 4-36 Resetovací tlačítko bezpečnostních okruhů

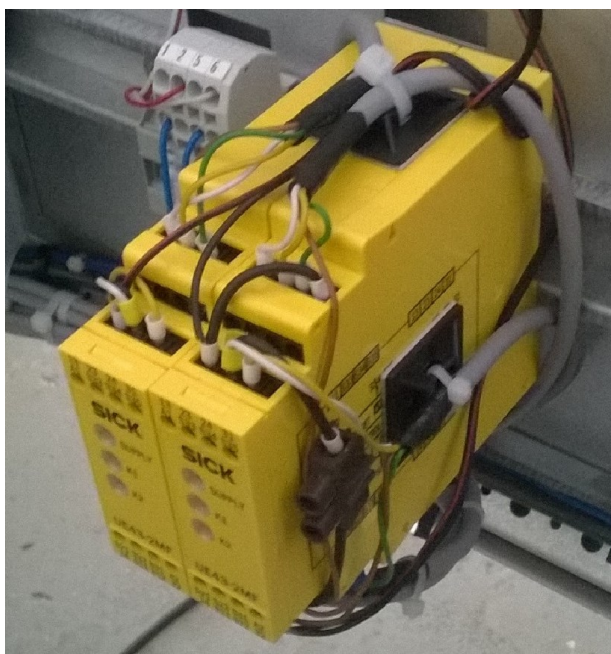


Obr. 4-37 Schéma zapojení bezpečnostních okruhů

Relé jsou napájena 24 V z modulu DI/O DSQC652. Z každého relé vychází čtyři vodiče (dva nezávislé okruhy) na příslušné svorky svorkovnic bezpečnostních okruhů robotu.



Obr. 4-38 Testovací zapojení bezpečnostních okruhů



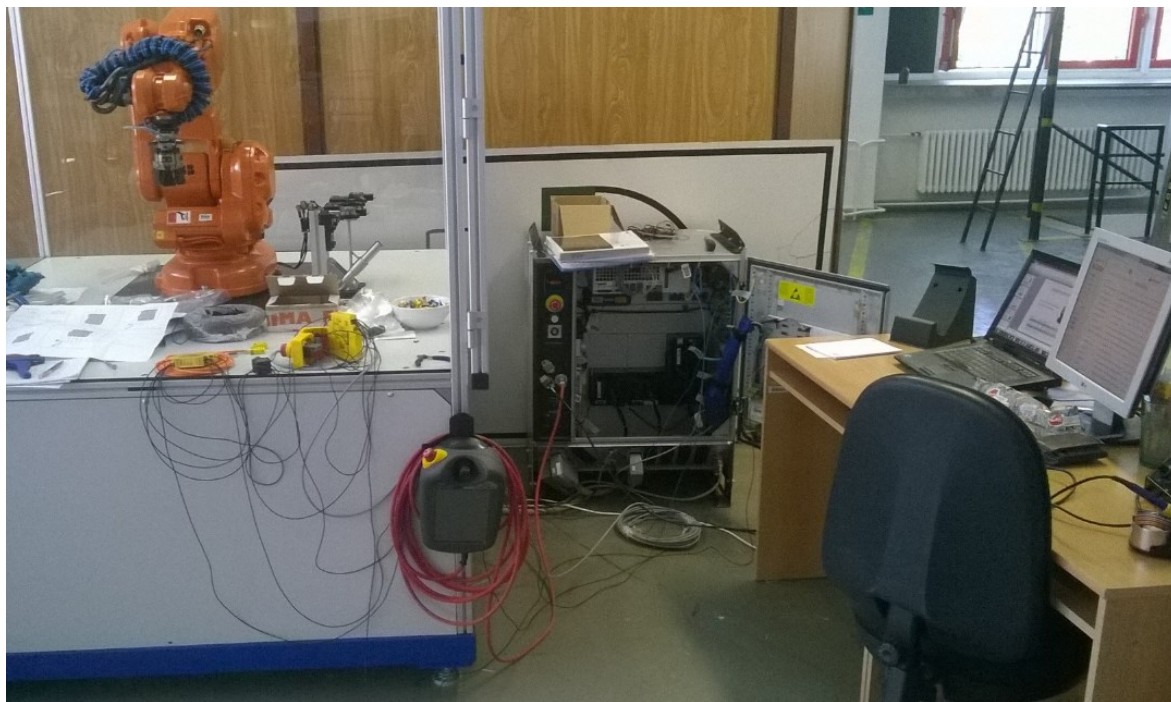
Obr. 4-39 Zapojení spínacích relé UE43

4.5.3 Výroba kabelových svazků – kabeláž efektoru

Původní kabeláže byly řešeny změtí vodičů, u kterých nebylo možno říci, zda se někde nezachytí a nepotrhají. Z tohoto důvodu jsem zvolil kroucený kabel se čtyřmi vodiči malého průřezu. Standardní kabely, prodávané po metrech, však byly velmi drahé, proto jsem vytvořil kabel vlastní. První variantu těchto kabelových svazků pro ventily CKD vyrobil pan Ing. Jan Babjak, Ph.D, současnou kabeláž pro ventily FESTO jsem vytvořil sám. Kabelový svazek, jdoucí po rameni robotu, sestává z dvojice kroucených kabelů. Na tyto dva kabely, s celkem osmi vodiči, jsou napojeny další čtyři kabely s celkem jedenácti vodiči. Toto spojení, při drobných rozměrech vodičů, bylo pro začátečníka velmi komplikované.

Další kabelový svazek bylo třeba vytvořit pro svedení všech signálů do kontroléru robotu. Celkem šlo o devět vodičů z držáku nástrojů, osm vodičů customer connection, napájení SMB desky vně robotu a dvanáct vodičů bezpečnostních okruhů. Těchto přívodních 31 vodičů je vedeno spojovacím kabelem.

Další množství vodičů bylo zapotřebí pro vlastní propojení svorkovnic uvnitř kontroléru.



Obr. 4-40 Tvorba elektroinstalace pracoviště



Obr. 4-41 Rozvod vodičů k příslušným svorkovnicím, vnitřkem kontroléru

4.5.4 Výroba kabelových svazků – spojovací kabel

Při dokončení všech elektroinstalačních prací vyvstal jeden zásadní problém. Tím bylo případné odpojení kontroléru od buňky, například v případě stěhování apod. Ukázalo se, že by to nebylo dost dobře možné. Bylo by nutné kompletně rozpojit značnou část elektroinstalace.



Obr. 4-42 Spojovací kabel

Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k poměrně nákladnému řešení v podobě hrubého spojovacího kabelu. Byl vytvořen 40 vodičový prodlužovací kabel na obou stranách osazený shodnými konektory Harting, jež používá ABB ve svých kontrolérech. Jedna strana je usazena v krycí desce na dně kontroléru (obr. 4-44), druhá se zapojuje v prostoru zadní části buňky.

Všechny kabely, jež do kontroléru vstupovaly samostatně, byly rozpojeny a vsazeny do konektorových polí, která tvoří jádra konektorů Harting, viz obr 4-43.



Obr. 4-43 Jádro konektoru Harting



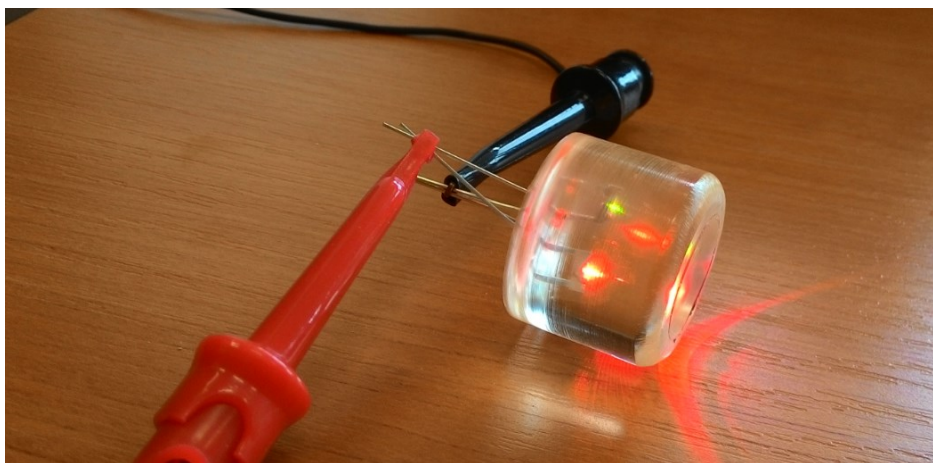
Obr. 4-44 Uchycení konektoru v buňce

4.5.5 Návrhy a výroba signalizačních majáků

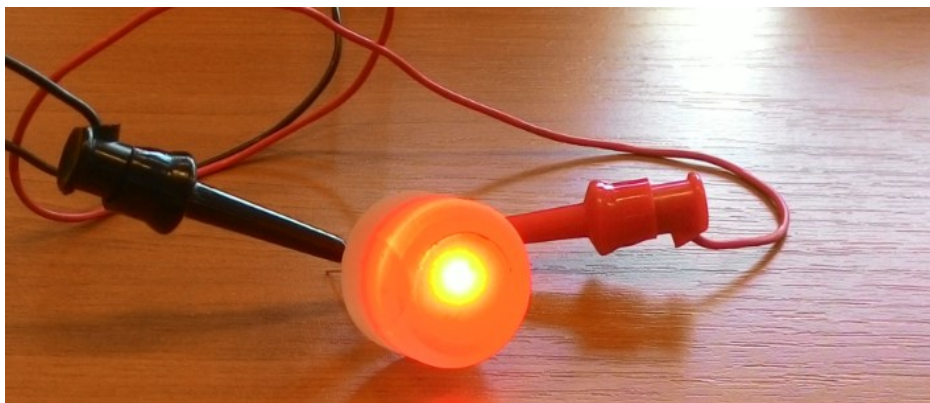
Příruby automatické výměny jsou vybaveny konektorovými poli. Pro rozšíření „svařovacího efektoru“, tedy popisovače, jsem se rozhodl osadit toto rozhraní signalizačním majáčkem, který by ve dvou barvách signalizoval stav procesu. Červená barva pro neplatné volby a chyby, modrá pro „pracovní posuvy“. Pod tímto pojmem si lze představit například spouštění svařovacího systému.

Základnou signalizačního majáčku musí být konektor D-SUB HD15M, na tomto konektoru jsou napájeny dvě LED, které jsou pro úsporu vodičů spájeny dohromady, resp. mají společnou zem (GND).

První návrh uvažoval zalití tohoto celku do čiré zalévací hmoty. Pro tento účel bylo vytvořeno několik forem z polykarbonátu, a to metodou 3D tisku. Pro ověření této myšlenky byl vyroben testovací vzorek. Ukázalo se, že zalévací hmota nerozptyluje světlo tak, jak by bylo vhodné, proto se vzorek opískoval. Zdrsnění povrchu zajistilo výborný rozptyl světla a rozsvícení celého majáku.



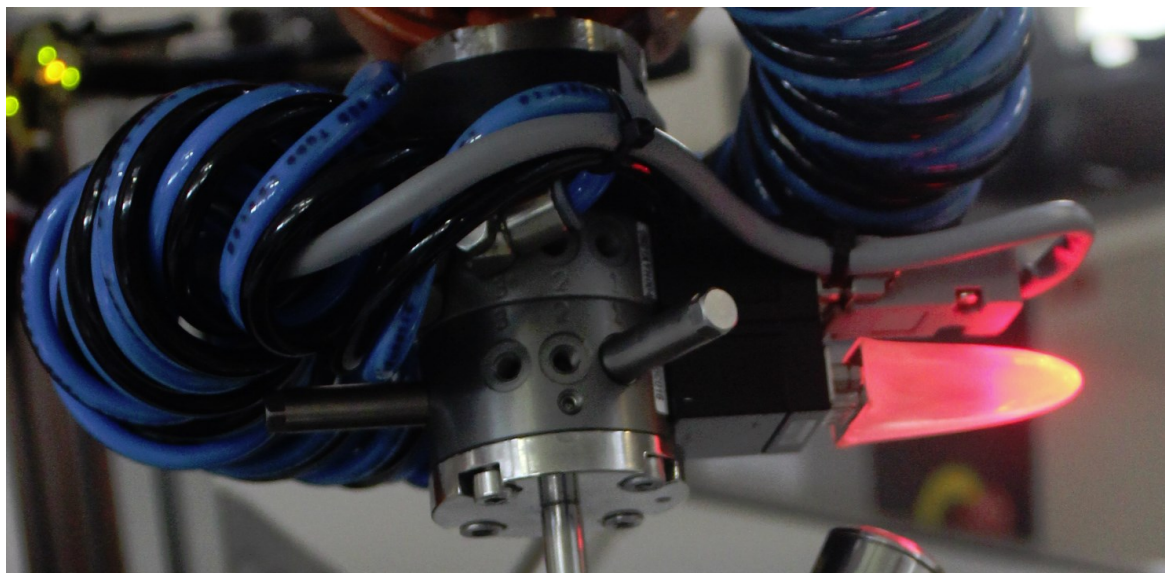
Obr. 4-45 Testovací vzorek signalizačního majáku



Obr. 4-46 Druhý, opískovaný vzorek

Po ověření této myšlenky byly vytvořeny dva signalizační majáky. Jeden ze zalévací hmoty, kde k rozptylu světla slouží struktura vrstev formy vzniklých metodou 3D tisku. Druhý vznikl samotným vytištěním z polykarbonátu. Ukázalo se totiž, že bílý polykarbonát o tloušťce 1 mm rozptyluje světlo ještě lépe, než zdrsňený povrch čiré zalévací hmoty.

Další úpravou byla náhrada klasických 24 V diod za SMD LED, které svítí v rozsahu 180°. Výrobu testovacích vzorků, zalití jednoho funkčního majáčku a přepájení původních LED za SMD LED zajistil kolega z oddělení konstrukce jednoúčelových strojů (SBU Tools – JÚS) podniku Brano Group a.s., pan Pavel Böhm.



Obr. 4-47 Signalizační maják, tvořený čirou zalévací hmotou.



Obr. 4-48 Signalizační maják, tvořený skořepinou z polykarbonátu.

4.6 Parametry a limity pracoviště

V tabulce níže jsou vypsány základní parametry pracoviště. Za zásadní omezení pracoviště je považován počet studentů, kteří s ním mohou současně pracovat. Ideální je práce v páru, kdy se studenti navzájem střídají dle vlastního uvážení.

Za limitní počet považují skupinu o čtyřech členech, při větším počtu už někteří studenti nemusejí dobře vidět do pracovního prostoru, vnímat výklad nebo případný komentář vyučujícího.

Tab. 2 Parametry realizovaného pracoviště

Rozměry (maximální)	1676 x 1690 x 2000 mm
Hmotnost	520 kg
Příkon	0,4 kW
Požadovaný tlak vzduchu	4,5 – 7 bar
Nosnost robotu	6 kg
Dosah robotu	810 mm
Opakovatelná přesnost robotu	0,03 mm

4.7 Položkový rozpočet

Položkový rozpočet zahrnuje investice provedené na navrženém pracovišti v horizontu dvou let. Ve výsledné ceně není obsažen průmyslový robot ani pneumatické chapadlo, které byly k dispozici na katedře.

4.7.1 Výroba SKO Opava

Tab. 3 Rozpočet – výroba SKO Opava

Sestava	Podsestava	Díl	Počet kusů	cena za kus	Cena celkem
Efektor	Držák	-	3	1655 Kč	4965 Kč
	Popisovač	-	3	2862 Kč	8586 Kč
Konstrukce buňky	Nosný rám	Svařenec rámu	1	35800 Kč	35800 Kč
	Další komponenty	TRN	1	578 Kč	578 Kč
		Kreslicí deska	1	1900 Kč	1900 Kč
		Boční lišta	2	355 Kč	710 Kč
Celkem			11		52539 Kč

4.7.2 Další nakupované díly

Tab. 4 Rozpočet – nakupované díly strojní

Komponenta	Typ	Dodavatel	Kusů	cena za kus	Cena celkem
Magnet - dveře	K0552.04	Kipp	4	136 Kč	544 Kč
Magnet - trn	K0555.03	Kipp	1	62 Kč	62 Kč
Magnet - deska	K0549.03	Kipp	4	66 Kč	264 Kč
Pravítko	K0579 000010X0500	Kipp	1	463 Kč	463 Kč
Pravítko	K0579 000010X0300	Kipp	1	274 Kč	274 Kč
Konstrukce	ITEM	Alvárís	1	59700 Kč	59700 Kč
Celkem			12		61307 Kč

4.7.3 Elektro – komponenty

Tab. 5 Rozpočet – nakupované díly elektro

Komponenta	Typ	ID	Dodavatel	Kusů	cena za kus	Cena celkem
Spínací relé	UE43-2MF2D2	6024893	SICK	2	2821 Kč	5642 Kč
STOP tlačítko	ES21-SA10F1	6036148	SICK	2	662 Kč	1324 Kč
šroubení M20	-	5309164	SICK	2	19 Kč	38 Kč
Blokovací zařízení	RE13 SAC	1059503	SICK	1	617 Kč	617 Kč
Kabel s konektorem	DOL-0804-G05M	6009872	SICK	1	227 Kč	227 Kč
Tlačítko	Ex9P1 FI r	105620	ELIMA	2	100 Kč	200 Kč
Základna	Ex9P1 B3	105611	ELIMA	2	22 Kč	44 Kč
Spínač NO	Ex9P1 1NO	105578	ELIMA	2	44 Kč	88 Kč

Spínač NC	Ex9P1 1NC	105579	ELIMA	2	44 Kč	88 Kč
LED modul	Ex9P1 LED 24V	105589	ELIMA	2	100 Kč	200 Kč
Kabel telefonní	HSK 4-4S 2M	GES06900310	GES	3	21 Kč	63 Kč
Kabel 4x 0,5mm	LIYCY 04x0,25	GES06915011	GES	20	17 Kč	350 Kč
konektor D-SUB	HD 15M	GES06600156	GES	2	16 Kč	32 Kč
24V LED	5mm	AM0441	Ampul	4	12 Kč	48 Kč
Kabel	NEBU-M8W3-K-2,5-LE3	541338	Festo	4	118 Kč	472 Kč
Konektor	VAVE-I1-1VR8-LP	573919	Festo	2	191 Kč	382 Kč
Celkem				53		9815 Kč

4.7.4 Pneumatické prvky

Tab. 6 Rozpočet – nakupované pneumatické prvky

Komponenta	Typ	ID	Dodavatel	Kusů	Cena za kus	Cena celkem
Úpravna vzduchu	LFR-1/4-DB-7-5M-MINI	539689	Festo	1	1386 Kč	1386 Kč
Úhelník	HR-D-MINI	-	Festo	1	63 Kč	63 Kč
Matice	HMR-D-MINI/MAXI	-	Festo	1	123 Kč	123 Kč
Šroubení	qs-G1/4 - 12	-	Festo	10	99 Kč	998 Kč
Tlumič	AMTE-M-LH-M5	1205858	Festo	20	32 Kč	644 Kč
Šroubení	QSM-M5-6-1	153317	Festo	10	36 Kč	367 Kč
Kabel	NEBU-M8W3-K-2,5-LE3	541338	Festo	4	118 Kč	472 Kč
konektor	VAVE-I1-1VR8-LP	573919	Festo	2	191 Kč	382 Kč
Spojka	PY-6	-	Ospol	1	41 Kč	41 Kč
Ventil 5/2	VUVG-L10-M52-MT-M5-1P3	574351	Festo	1	880 Kč	880 Kč
Ventil 5/3	VUVG-L10-P53C-T-M5-1R8L	577346	Festo	1	1702 Kč	1702 Kč
Celkem				69		7058 Kč

4.7.5 Konečná cena

Tab. 7 Rozpočet – proinvestované prostředky

Prvky	Cena
Výroba SKO Opava	52 539 Kč
Nákup ostatní	61 307 Kč
Elektro komponenty	9815 Kč
Pneumatické prvky	7058 Kč
Celkem	130 719 Kč

5 Výuka a práce s pracovištěm

V návrhu znalostí, jež by měl student získat a procvičit, vycházím z vlastní zkušenosti v průmyslové automatizaci a profesionálního školení, jímž jsem prošel ve školicím centru ABB. Způsob a osnova tohoto školení posloužilo do jisté míry jako předloha, jež byla vhodně přizpůsobena a rozšířena dle možností katedry.

Výuka je zaměřena na ovládání a programování průmyslových robotů ABB s řízením IRC5 RobotWare 5.15 za pomoci jednotky FPU případně RAPID editoru softwaru RobotStudio. Není zde uvažováno definování trajektorií robotu pomocí simulačního prostředí softwaru RobotStudio.

Cílem pro studenty je nabytí zkušeností, které dle terminologie společnosti ABB odpovídají kurzům operátor, seřizovač a specialista. To znamená, že student zvládne robot ovládat ručně, zvládne definovat jednoduché programy skrze FPU i složitější programy skrze RAPID editor softwaru RobotStudio. Dále zvládne pracovat s digitálními vstupy a výstupy, pracovat s WorkObjecty, vytvářet nástroje apod.

Studenti studující na katedře robotiky, fakulty strojů, VŠB-TUO, jsou většinou absolventy středních průmyslových škol a gymnázií. Tito studenti obvykle mají jen malé povědomí o elektrotechnice a programování. Proto je třeba vytvořit studijní materiály tak, aby byl úvod pro laika do problematiky co možná nejsnazší a nejrychlejší. Z tohoto důvodu je v rámci této diplomové práce vytvořeno skriptum, prezentace a další podklady, jež jsou podrobněji popsány dále. Při tvorbě těchto materiálů jsem nepřímo vycházel z návodů ABB. (11)

5.1 Návrh organizace výuky

Etapy výuky vycházejí z požadavkového listu a jsou rozděleny tak, aby odpovídaly výuce čtyřčlenné skupiny (na jedno školicí pracoviště) po dobu jednoho semestru, tedy standardně 28 x 45 minut. Výuka probíhá tak, že vyučující probere určitou část problematiky a studenti ji ihned prakticky vyzkoušejí. Další výklad pokračuje až po pochopení předcházející látky. Výuka v rámci semestru bude probíhat maximálně do konce druhé třetiny daného semestru, poté již výuka neprobíhá a studenti procvičují nabyté znalosti a tvoří programy dle zadání pro získání zápočtu. V případě použití v praxi může toto školení probíhat obdobným způsobem, pouze přezkoušení znalostí určí zaměstnavatel.

5.1.1 Obsah první etapy

V první etapě výuky se student seznámí s následujícím:

- popis robotu, kontroléru a jejich částí
- bezpečnostní zásady pro práci s roboty, bezpečnostní okruhy – jejich funkce
- pracovní režimy (Automatika, ruční, ruční 100%), jejich účel
- popis jednotky FPU – popis ovládacích prvků
- popis jednotky FPU – základní orientace v Menu
- souřadné systémy
- režimy ručního ovládání
- vytvoření vlastního nástroje (úprava TCP)
- kalibrace (aktualizace počítadel otáčení) po výpadku proudu (vybití baterie)
- editor programu, struktura programu, orientace v programu
- obnovení a záloha programu
- práce s procedurami a moduly
- instrukce pro práci s oknem operátora
- pohybové instrukce, základní pohybové programy.

Úvodní body si kladou za cíl seznámit studenta s hardwarem a jednotkou FPU. Režim ručního ovládání studenti procvičí nejprve obecným pohybem v prostoru, poté mohou zkusit nájezd nástrojem na desku a rovinné kreslení fixem po desce. Komplexní prověření zvládnutí ručního ovládání robotu umožní pomůcka „Horký drát“.

Prvním důležitým úkolem je definice, případně kalibrace, TCP nástroje. Pro tuto činnost je nejvhodnější nástroj popisovač, jež lze rozvolnit v jedné ose. Školitel tedy předá studentovi efektor s posunutým TCP, a ten má za cíl ověřit pozici TCP a je-li to třeba také provést kalibraci. Každý student by si měl tuto operaci vyzkoušet nejméně jednou, jelikož poškozený nebo nový nástroj je častým problémem v praxi.

Dále se student důkladně seznámí s funkcemi, jež mu umožní provádět úkony údržby případné výrobní linky nebo jednoúčelového stroje, který je průmyslovým robotem vybaven. K tomu je nezbytné, aby se daný pracovník dobře orientoval v již definovaném programu, dokázal jeho funkce ověřit po krocích, provést zálohu apod. K samotnému programování se student dostane až v závěru této etapy. Probrány jsou pouze základní instrukce a pohybové instrukce, které student ve zbývajícím čase procvičí.

5.1.2 Obsah druhé etapy

Nezbytným požadavkem pro započetí studia druhé etapy je absolvování a dobrá znalost etapy předcházející. Jednotlivé informace na sebe přímo navazují. Činnost v rámci této etapy probíhá skrze jednotku FPU. Využití PC by práci významně urychlilo a usnadnilo. Účelem těchto úvodních lekcí však je seznámit budoucího pracovníka s jednotkou FPU a dobře ho v práci s ní procvičit. V případě urgentního řešení problémů, jednoduchých úprav nebo kalibrací nástroje ve výrobě se mnohdy jedná o jednoduché úkony, které není třeba řešit pomocí počítače. V některých případech dokonce software RobotStudio není k dispozici, nebo je nezbytné problém vyřešit přes FPU (kalibrace nástroje apod.).

Druhá etapa zahrnuje následující postupy:

- ověření znalostí z předcházející etapy, doplnění chybějících znalostí;
- základní datové typy;
- složené datové typy;
- funkce a cykly, rozhodování;
- práce se signály (DI/DO);
- představení softwaru RobotStudio (pouze editor programu);
- práce s WorkObject;
- RobotStudio Online.
- procvičení všech doposud nabytých znalostí vyřešením úlohy dle zadání

Po rekapitulaci první etapy je student seznámen se základními i složenými datovými typy, s nimiž se naučí pracovat. Následuje úvod do programování a vysvětlení základních funkcí a cyklů. Pro pochopení doposud probraného učiva je nezbytné jej důkladně procvičit. Dále již není nutné pracovat pouze s jednotkou FPU, pro urychlení práce je představen rapid editoru softwaru RobotStudio. V závěru této etapy se student seznámí s definicí a použitím WorkObjectu. Ve zbývajícím čase jsou výše popsané znalosti procvičovány.

5.1.3 Obsah třetí etapy

Ve třetí etapě se student seznámí s pokročilými funkcemi systému a důkladně je procvičí. Nezbytným předpokladem pro úspěšné zvládnutí je nejen dobrá znalost etap předcházejících, ale také základy programování v jazyce C#.

Obsah třetí etapy:

- seznámení se simulačním prostředím robotStudio;
- vytvoření WorldZone, Popis PoweON routine;
- trigger;
- ovládání robotu vlastní aplikací, vytvořenou v C#;
- zpracování programů dle zadání školitele.

Student se seznámí se simulačním prostředím softwaru robotstudio a osvojí si základy offline programování. Budou vysvětleny zákonitosti bezpečnostních zón a jejich vytvoření v rámci speciálních rutin, jež fungují nezávisle na definovaném programu. Následují pokročilé funkce pro práci se signály tzv. trigger. Studenti katedry robotiky se během studia seznamují, mimo jiné, s programovacím jazykem C#. Aplikace napsaná v tomto jazyce, s jejíž pomocí bude možné ručně ovládat robot z počítače je prozatím pouze uvažována.

Přílohami je tato etapa podložena pouze ve druhém a třetím bodě. Podklady pro výuku především simulačního prostředí RS jsou ve fázi návrhu.

5.2 Podmínky pro udělení zápočtu

Po absolvování první a druhé etapy výuky by měl student bez problémů zvládnout úlohy, jež jsou podrobněji popsány níže. Úlohy by svým rozsahem v žádném případě neměly přesáhnout 300 řádků. První kód, napsaný dle prvního zadání, nepřesáhne 100 řádků, pokud je napsán s rozvahou.

Další podmínky, případně způsob bodového ohodnocení, závisí na vyučujícím, jež výuku povede.

Níže následuje trojice možných zadání programů, které musí student vypracovat k získání zápočtu.

Vytvořte programový modul – Kreslení obrázků

- Obsluha zadá počet (kružnic nebo čtverců), počet bude omezen v rozsahu 1 - 5
- Průměr (strana) bude omezeno na rozsah 10 – 45 mm
- Před započítáním pohybů bude zkontrolováno, že je nesen zvolený nástroj
- Pohyby budou definovány v rámci WorkObjectu
- Nesplnění podmínek = vypsaní chybové zprávy, rozsvícení červeného světla po dobu 5 sekund a ukončení programu

- Robot vykreslí tvary na papír z leva tak, aby se protínaly v jednom bodě (čtverce budou vytočeny o 45°), rozteč mezi tvary tedy bude rovna průměru kruhu / úhlopříčce čtverce
- Systém operátora informuje o počtu kružnic (čtverců) a zobrazí průměr (délku strany)
- Před rozjezdem robot blikne modrou, při kontaktu s papírem pak bude maják svítit

Vytvořte programový modul – Stavba pyramidy

- Pohyby budou definovány v rámci dvou WorkObjectů (pro odebírání a stavbu pyramidy)
- Robot bude chapadlem odebírat kostky z duralového zásobníku a skládat je vedle na stůl do pyramidy
- Pyramida bude definována jediným bodem, umístěným v její „ose“
- Obsluha zadá počet řad pyramidy, počet bude omezen v rozsahu 2 – 5
- Bude vytvořena možnost ukončení programu, ještě před spuštěním pohybových instrukcí
- Nesplnění podmínky = vypsání chybové zprávy a ukončení programu
- Před rozjezdem robot procvaká čelisti
- Po dokončení systém operátora informuje o velikosti pyramidy a počtu užitých kostek
- Nakonec robot (opatrně, rychlostí v200) zboří pyramidu

Vytvořte programový modul – Kopírování trajektorie

- Pohyby budou definovány v rámci WorkObjectu, jeho osa z bude shodná s osou vertikální části drátu na počátku trajektorie
- Po spuštění programu robot odebere nástroj a opatrně jej nasadí na drát na jedné či druhé straně
- Obsluha tlačítka zvolí jednu, ze tří možností:
 - Ukončit program – robot vyveče efektor z drátu, odloží jej do stojanu a vrátí se do výchozí (Home) pozice
 - Jeden cyklus – po jednom projetí robot odkládá nástroj a vrací se do výchozí pozice a program je ukončen
 - Cyklický pohyb - robot přejíždí z jedné strany na druhou, dokud není obsluhou vypnut

- Před započítáním kopírování drátu se jej robot (efektorem) dotkne, pro ověření signalizačních funkcí přípravku

5.3 Praktická výuka na UCR

První a druhá etapa výuky byla ověřena v praxi v zimním semestru 2017. Výukou prošli studenti třetího a druhého navazujícího ročníku katedry robotiky. Tato praktická zkušenost odhalila určité nedostatky a především pasáže, kterým je třeba věnovat více času a péče jak ve studijních podkladech, tak především ve výuce. Jednalo se především o:

- Funkce a cykly (Offset, FOR, WHILE)
- Nastavování prodlev pro pohyby robotu a práci se signály (WaitTime, \InPos aj.)

Tato zkušenost významně přispěla k vyladění podkladů a osnov a odstranění takzvaných „dětských nemocí“, které každý nový „výstup“ v úvodu provázejí. Praktické ověření studijních materiálů (konkrétně první a druhé etapy) bylo provedeno na dvou nezávislých skupinách studentů.

Výuka v zimním semestru 2017 proběhla následovně:

- Třetí ročník bakalářského studia měl tuto výuku dobrovolně, celkem se zúčastnilo šest studentů. Výuka probíhala jednou týdně v rámci dvouhodinového cvičení. Několik cvičení však odpadlo. Úspěšně se podařilo probrat a odzkoušet učivo, jež je obsaženo v prvních sedmi prezentacích (viz příloha). Obsah osmé prezentace byl odpřednášen také, její obsah však úspěšně použil jen jediný student. To bylo dáno nedostatkem času k procvičení.
- Pátý ročník má výuku na IRB140 zařazenou v předmětu „Laboratorní cvičení v oboru“. Výuka probíhala po dobu čtyř týdnů v rámci šestihodinových cvičení. Zbývajících osm týdnů bylo věnováno výuce na robotech Mitsubishi a IRB14000 YUMI. Studenti byli rozděleni do skupin po čtyřech. Úspěšně se podařilo probrat a odzkoušet učivo, jež je obsaženo v prvních sedmi prezentacích. Studenti však neměli příliš času na procvičení nabytých znalostí.

5.4 Skriptum

Základem výukových materiálů je skriptum, jež bylo vytvořeno v rámci této práce a jež nese název „Ovládání robotů ABB – IRC5“. Je určeno začátečníkům v oblasti programování průmyslových robotů i obecné práci s nimi.

Skriptum obsahuje informace o základních bezpečnostních prvcích systému a předpokladech, které musí obsluha plnit, aby bylo riziko újmy na zdraví nebo poškození systému minimální. Dále se zabývá popisem základních funkcí, po jejichž studiu (a určitém čase stráveném prací s reálným robotem) by měl čtenář dosáhnout základních úrovní „operátor“ a „seřizovač“ tak, jak je definuje sám výrobce, společnost ABB, ve svých školicích postupech.

Dále jsou popsány základní i pokročilé datové typy, instrukce apod., jež mají znalosti čtenáře posunout do úrovně „specialista“

Mimo jiné se čtenář může dočíst, jak vytvořit DI/O signály, a to jak definicí v systému IRC5, tak samotným propojením v daných svorkovnicích DI/O modulu, jímž je kontrolér obvykle vybaven.

Pro zajištění bezpečné práce s těmito nákladnými a nebezpečnými systémy skriptum podrobně popisuje způsoby, jak vytvořit „WorldZones“, tedy zóny, které robot nesmí narušit (nebo jež naopak nesmí opustit). Tyto principy přímo vymezují prostor pohybu robotu, a tím výrazně sníží pravděpodobnost nárazu robotem do překážky (v našem případě třeba desky stolu apod.)

K snazšímu pochopení jsou dané kapitoly v některých případech rozšířeny o konkrétní příklady. Pro samotné pochopení základů programování člověkem, jež s obecným programováním doposud nemá zkušenosti, pak skriptum obsahuje několik řešených úloh, které dopodrobna popisují každý jednotlivý krok chodu programu. Skriptum je součástí příloh této práce. Je však duševním vlastnictvím katedry robotiky a je určeno pouze studentům, kteří na této katedře studují. Z tohoto důvodu je přiloženo pouze v tištěné verzi práce.

5.5 Prezentace

Pro usnadnění výuky je v rámci této práce vytvořena sada prezentací, ve kterých je stručně popsáno to, co detailně popisuje skriptum. Prezentace jsou přiloženy na datovém nosiči této práce v elektronické formě. Celkem se jedná o osm prezentací o 110 snímcích.

Tyto prezentace jsou svým rozsahem rozdílné, nelze jednoduše říci, kolik času je třeba konkrétní prezentaci věnovat. Je to dáno charakterem výuky. Po probrání každého celku učiva, si daný výklad studenti odzkoušejí na jednoduchých úlohách, kdy zadání jsou součástí každé prezentace. Harmonogram výuky tedy ovlivní několik proměnných, především pak počet studentů, jejich snaha, příprava na hodinu apod.

Názvy jednotlivých prezentací:

- Část I. Bezpečnost
- Část II. Popis robotu
- Část III. Definice nástroje a kalibrace
- Část IV Editor programu a záloha
- Část V Pohybové instrukce
- Část VI Programování
- Část VII Signály a cykly
- Část VIII WoB

5.6 Prezentační úlohy

Díky systému automatické výměny nástrojů lze pracovat až se třemi různými technologiemi, na nichž lze definovat bezpočet úloh. Na pracovišti lze simulovat svařování, manipulační aplikace a relativně přesné kopírování trajektorie. Pro tyto účely je pracoviště vybaveno popisovacími efektory, chapadlem a přípravkem „Horký drát“. Ty jsou detailně popsány výše v této práci.

K těmto technologiím jsou vytvořeny prezentační programy, jeden ke každé technologii. Některé (Horký drát, manipulace) lze spustit i cyklicky na dobu neurčitou. Tyto prezentační úlohy slouží především k prezentaci katedry, motivaci studentů a vzbuzení zájmu laiků, mladších i starších lidí, o techniku a automatizaci.

5.6.1 Prezentace obloukového svařování

Tato prezentační úloha funguje následovně.

- Obsluha ustaví ocelovou desku na zešíkmené sloupky a magnety uchytlí papír.
- Buňka je uzavřena, robot spuštěn v automatickém režimu.
- Po spuštění programu obsluha navolí:
 - tvar kresleného obrazce (čtverec nebo kruh),
 - rozměr obrazce (10 – 45 mm),

- počet obrazců (2 – 5).

Pozn. pokud je kterákoliv volba mimo daný rozsah, dojde k vypsání chybové zprávy a požadavku na opětovné zadání platné hodnoty.

- Robot odebere popisovač.
- Robot vykreslí na šikmou rovinu obrazce dle volby tak, aby se v řadě za sebou ty sousední dotýkaly vždy v jediném bodě (čtverce jsou tedy vytočeny o 45°).
- Po vykreslení obrazců systém informuje o počtu a velikosti a následně je chod programu ukončen.

5.6.2 Presentace manipulace s materiálem

Při této ukázce je manipulováno s třemi až šestnácti dřevěnými kostkami rozměru 40 x 40 x 40 mm. Z těch je stavěna pyramida. Jednotlivé kostky pyramidy jsou ukládány vzhledem k ose pyramidy.

- Obsluha ustaví duralový zásobník kostek na magnety v buňce a naplní jej kostkami.
- Pracoviště je uzavřeno, robot spuštěn v automatickém režimu.
- Robot odebere chapadlo.
- Obsluha zvolí počet pater pyramidy (2 – 5).
- Obsluha zvolí, zda má být pyramida po dokončení opět rozebrána a kostky navraceny do zásobníku, nebo zda má dojít k demolici.
- Robot postupně odebírá kostky pneumatickým dvou-čelistovým chapadlem a staví pyramidu.
- Následuje rozebrání nebo demolice a ukončení chodu programu.

5.6.3 Presentace kopírování trajektorie

V tomto případě robot kopíruje trajektorii drátu z jednoho konce na druhý a zpět. Program lze spustit cyklicky nebo jen jednou.

- Obsluha ustaví „Horký drát“ na magnety v buňce a zapojí konektor.
- Po uzavření dvířek a spuštění programu v automatickém režimu robot odebere vhodný efektor.
- Robot nasadí smyčku efektoru na drát a zlehka se ho dotkne (dojde k zaznění varovného tónu a rozsvícení horní strany základny horkého drátu červenou barvou).

- Robot poté přejíždí maximální možnou rychlostí z jednoho konce na druhý, dokud jej obsluha nezastaví.
- Pokud dojde k vypadnutí smyčky z efektoru, robot se kontrolovaně zastaví a na FPU je vypsáno chybové hlášení.

5.7 Cvičební úlohy

K jednotlivým úkonům jsou, je-li to možné, vytvořena zadání a vzorové programy pro kontrolu. Na těchto programech studenti pracují v rámci výuky, případně samostudiem doma. Zadání jednotlivých cvičebních úloh jsou v prezentacích, vždy po probrání daného učiva. Řešení jsou v samostatném dokumentu v příloze, zadání jednotlivých úloh jsou popsána výše v kapitole popisující jednotlivé etapy výuky.

5.8 Záloha systému a disk pro re-boot systému

Pro případ nevhodných zásahů do nastavení a nepředvídatelných chyb v řídicím systému robotu je vytvořen flash disk, jež obsahuje:

- zálohy systému:
 - čistý systém (pouze nástroj a základní body v prostoru),
 - prezentační úlohy (tři - jedna pro každý nástroj),
- instalační soubor s návodem pro úplnou reinstalaci řídicího systému kontroléru - součástí tohoto instalačního média jsou konfigurační soubory, které nastavují bezpečnostní zóny (WorldZones), vstupy a výstupy DI/O modulu DSQC652 aj.

Tento „servisní“ disk je umístěn uvnitř kontroléru, zavěšen na karabině na dveřích. Na disku jsou dále soubory stejného charakteru i pro všechny zbývající angulární roboty ABB, jimiž katedra robotiky disponuje, celkem tedy 3x IRB 140 a 1x IRB 14000 YUMI.

Součástí těchto systémových souborů jsou i softwarové klíče k jednotlivým kontrolérům. Z bezpečnostních důvodů tedy obsah tohoto servisního disku není součástí přílohy této diplomové práce.

6 Další rozvoj pracoviště

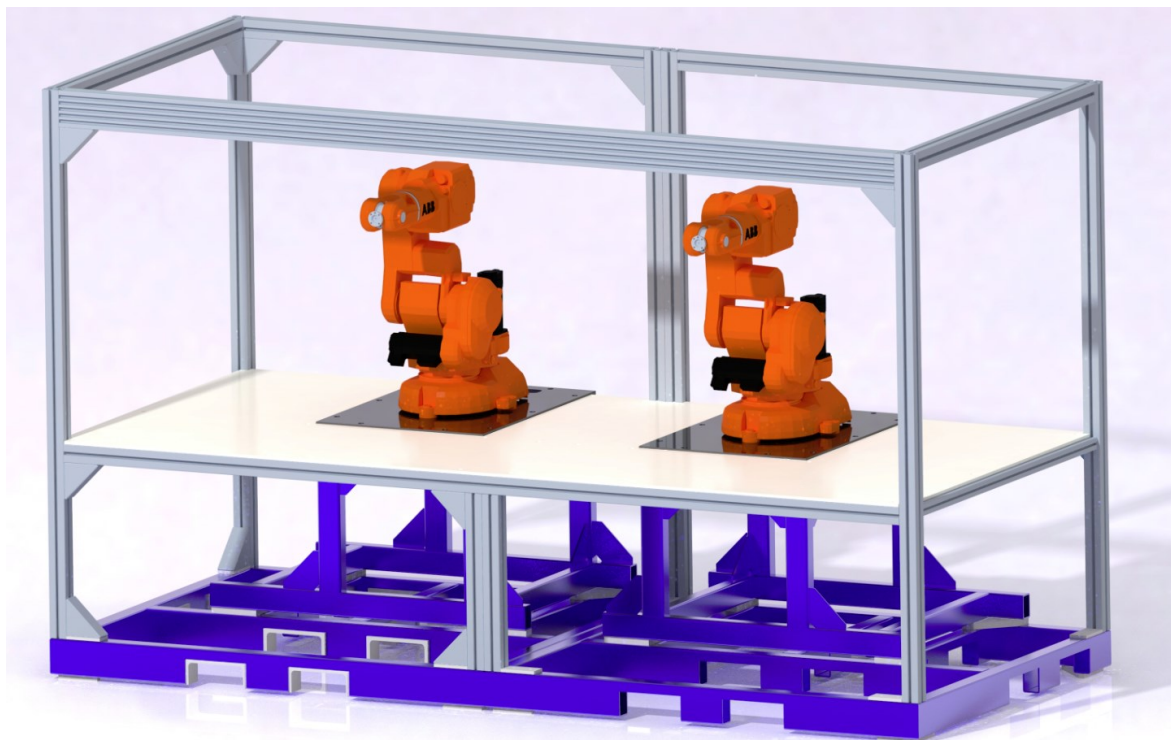
Tato kapitola pojednává o dalším možném rozvoji pracoviště, který již nebylo možné realizovat do obhajoby této práce. Výhledově je však jeho realizace pravděpodobná.

6.1 Návrh dvojitého pracoviště, pro výuku programování robotů v kooperaci (MultiMove programování)

V rámci této diplomové práce se zprvu uvažovalo o návrhu universálního pracoviště, jež by bylo možno spojovat dle libosti, a stejně tak využít k samostatné práci. Ukázalo se však, že tato modularita není v podmínkách, za kterých je současné RTP na katedře robotiky provozováno, opodstatnitelná. Nevýhody, jež z ní plynou, významně převyšují praktickou nevyužitelnost jejích výhod. Pracoviště jsou navržena a postavena s jediným cílem, tím je výuka praktické práce s průmyslovými roboty.

Proto se dále neuvažovalo o výrobě duplikátu již užívaného pracoviště, ale konstrukci pracoviště zcela nového, jež by reflektovalo nedostatky a poznatky z pracoviště prvotního.

V další fázi se tedy uvažuje o pracovišti, jež bude „ušito na míru“ potřebám katedry. Pracoviště má povýšit možnosti výuky na práci s dvojicí robotů, v jednom pracovním prostoru, proto se skládá z levého a pravého pracoviště.



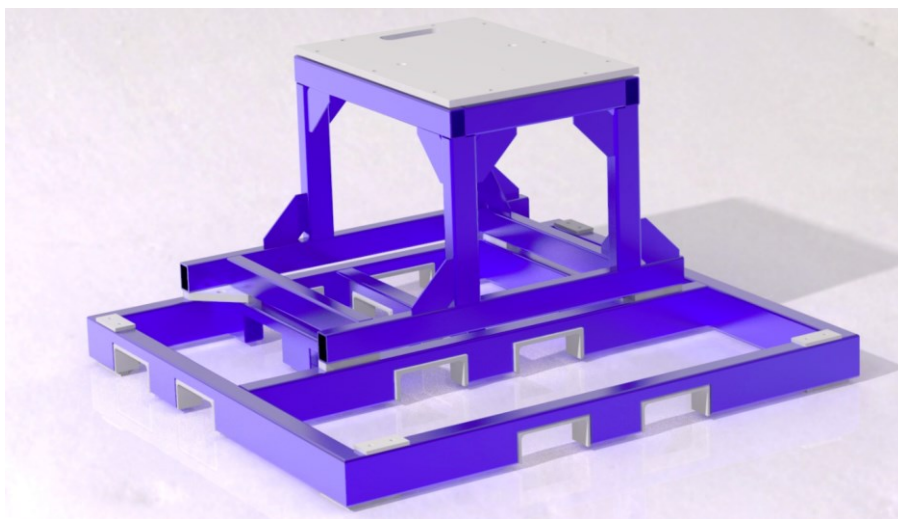
Obr. 6-1 Zdvojené pracoviště

6.1.1 Úpravy rámu, oproti prvnímu realizovanému pracovišti

Základní rám doznal značných změn, kromě změny půdorysného rozměru, z důvodu dosahů robotu do společného pracovního prostoru jsou změny tyto:

- Nájezdy pro vidlice paletového vozíku, z čela a vnějšího boku pracoviště
- Rozdělení rámu na základnu a sloup

Tyto změny, základní rám značně prodraží, pokud by se nezmenšil půdorysný rozměr, tak by znamenaly i nárůst hmotnosti. Jsou však požadovány zadavatelem. Nájezdy usnadní manipulaci s pracovištěm, jež váží téměř 500 kg. Bez nájezdů se pracoviště zvedá obtížně a je zapotřebí dvou paletizačních vozíků. Nájezdy jsou tvořeny díly, jež jsou navařeny do před-chystaných otvorů, vyřezaných v profilech



Obr. 6-2 základní rám zdvojeného pracoviště

Zásadnější změnou, oproti realizovanému pracovišti je rozdělení rámu, na dvě části. Důvodem pro tuto komplikaci jsou logistické problémy. Rám váží celkem zhruba 270Kg, po demontáži desky, do níž je kotven robot, je hmotnost 197Kg. Univerzitní centrum robotiky na VŠB TU v Ostravě je situováno v budově KTVS v prvním patře. Sice je možné využít starý nákladní výtah, ten je však velmi malý a nelze jej tedy využít. Obě schodiště jsou buďto úzká, nebo je nutné se na přístupové chodbě otáčet. Transport prvního rámu do prostor katedry byl tedy obtížný. Proto je rám rozdělen tak, aby žádná z částí nepřesáhla hmotnost 100Kg. Taková hmotnost se již dá přenést bez větších problémů.

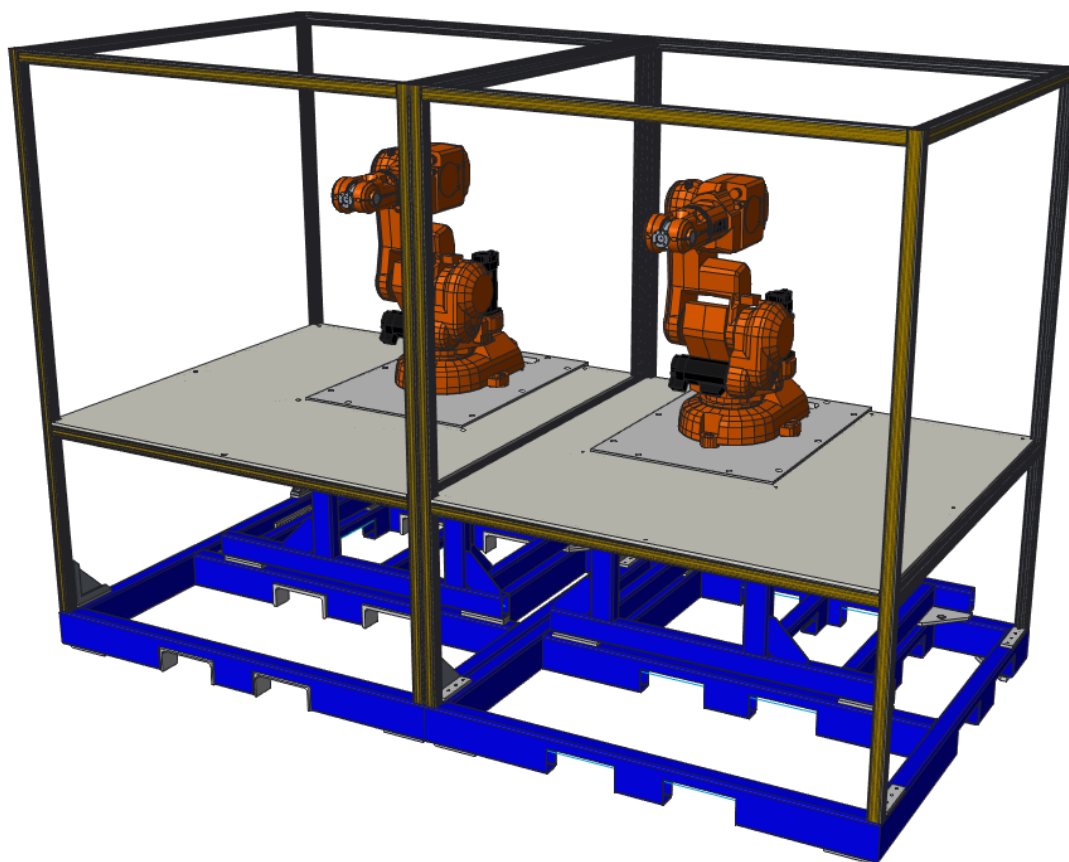
Spojení rozdělených částí je řešeno usazením na navařené desky, jež se pak sešroubují pomocí čtveřice šroubů

6.1.2 Popis variant dvojitého pracoviště

Stále zde byl požadavek, na snadné a rychlé rozpojení pracovišť, pro případnou samostatnou práci. Osobně mi takové řešení nepřipadá výhodné. Výhodnost, která z toho vyplýne, degraduje pracoviště jako celek, a nakonec nejspíš ani nebude využita. Přesto vznikly dvě varianty nástaveb z ITEM profilů.

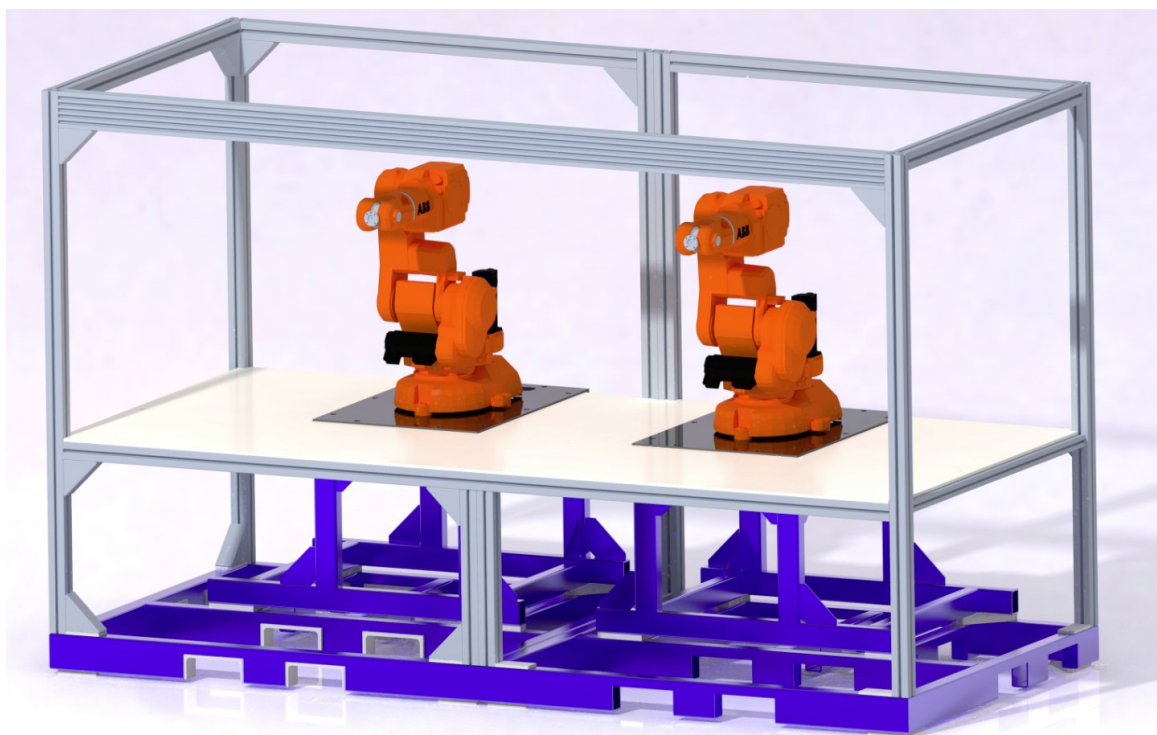
První varianta uvažuje dvě v podstatě nezávislé buňky, jež jsou spojeny tak, jak bylo uvažováno v případě prvního, realizovaného pracoviště. Problematickým místem je zde středový sloupek, v šíři 80mm jež značně redukuje výhled do společného pracoviště, pokud by pracoviště byla osazena klasickými dveřmi, byla by situace ještě horší

Boky a zadní strany pracovišť jsou krytována čirým polykarbonátem. Čelní stranu lze uzavřít dvířky, jež se budou otevírat do stran, dvířky, jež se budou vysouvat vzhůru (za pomoci balancéru nebo zabezpečení laserovým scannerem. Teoretická snadná rozdělit pracoviště na dvě nezávislá pracoviště není prakticky jednoduše dosažitelná. Důvodem je nezbytnost uzavření vnitřních bočních stěn, jež musejí být ve spojeném stavu průchozí, z důvodu umožnění kooperace ve společném pracovním prostoru.



Obr. 6-3 První varianta zdvojeného pracoviště

Druhá varianta je již jedním celkem, který je rovněž možno jednoduše demontovat, avšak bez možnosti samostatné práce. Boční a zadní strany jsou krytovány čirým polykarbonátem, čelo není osazeno dvířky, pro zabezpečení v automatickém režimu se uvažuje využití 2D laserového scanneru, jež je na katedře k dispozici. V ručním režimu pohybu bude prostor hlídán pouze světelnými závorami a vhodným nastavením WorldZones, jimiž se vymezí pracovní prostor robotů.



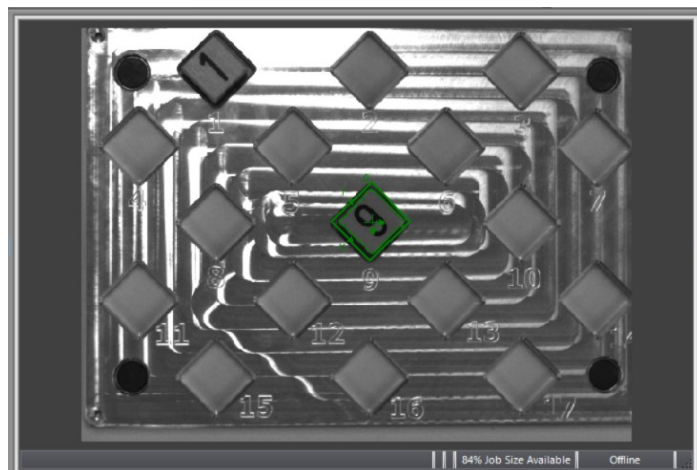
Obr. 6-4 druhá varianta zdvojeného pracoviště

6.2 Vision system

V rámci možného rozšíření je na pracovišti uvažována instalace vision systému výrobce COGNEX se kterým má katedra určité zkušenosti. Tento systém byl na pracovišti po krátkou dobu instalován.

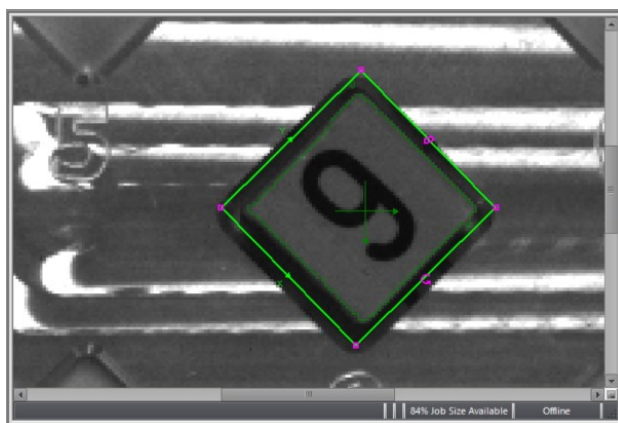
Pro podporu tohoto záměru byl upraven hliníkový zásobník kostek, ten je navíc opatřen čísly jednotlivých pozic. Číslo jsou gravírována do povrchu a po vyplnění gravírování barvou budou pro průmyslovou kameru dobře rozpoznatelná.

Níže vyobrazené pohledy (6-5, 6-6) byly pořízeny kamerou výrobce Cognex a jsou zpracovány v softwaru In-Sight.

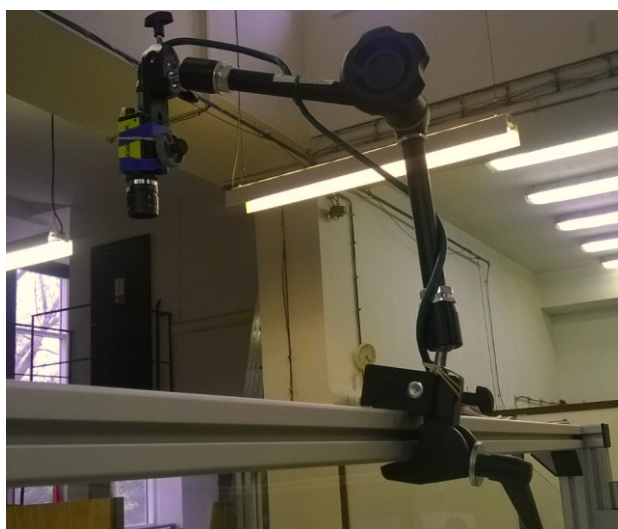


Obr. 6-5 Pohled do pracovního prostoru kamerou cognex

Na obrázku 6-5 je zřetelné rozpoznání obrysu kostky kamerou. Při reálném použití kamery na pracovišti by bylo třeba kameru „naučit“ rozpoznávat jednotlivé čísla kostek a jednotlivá čísla na zásobníku. Je zřetelné, že stopy po obrábění duralové desky budou působit problémy a tento povrch bude muset být pískován či broušen.



Obr. 6-6 Rozpoznání OM



Obr. 6-7 kamera na stojanu, instalovaná na pracovišti.

7 Závěr

V rámci této diplomové práce vzniklo výukové robotizované pracoviště se systémem automatické výměny nástrojů. Pracoviště bylo vyrobeno a sestaveno. Montáž, tvorba pneumatického obvodu i elektroinstalace byla realizována na katedře robotiky svépomocí. Vzhledem k chybějící kvalifikaci dle vyhlášky č. 50/1978 Sb. byla elektroinstalace zapojována na kontroléru odpojeném od sítě a před spuštěním byla kontrolována osobou která je k daným zásahům způsobilá.

Pracoviště bylo odzkoušeno v zimním semestru 2017, na dvou nezávislých skupinách studentů. Na základě poznatků z výuky a vlastního testování vzniklo několik návrhů, jež funkcionality této buňky povyšují, vznikl návrh další generace pracovišť, jež mohou být výhledově realizována. Studijní materiály byly upraveny a skripta rozšířeny o další návody. Studijní opory jsou součástí přílohy této práce a sestávají ze skripta, sady podpůrných prezentací, řešených úloh a demonstračních úloh.

8 Použitá literatura

1. **ABB.** Robotické pracoviště - školicí set. [Online] [Citace: 30. 4 2018.] <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107045A1162&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.
2. **FANUC.** Školení v obsluze robotů pro univerzity a školy. [Online] [Citace: 30. 4 2018.] <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/robotick%C3%A9-%C5%99e%C5%A1en%C3%AD-pro-%C5%A1koly>.
3. **KUKA.** KUKA - školicí pracoviště ready2_educate. [Online] [Citace: 30. 4 2018.] https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/ready2_use/kuka-ready2_educate.
4. **ABB Robotika.** ABB IRB 140. *MACH ftd.* [Online] [Citace: 30. 4 2018.] <http://www.mach.ro/abb-irb-140-en.html>.
5. *Recent Advancements of Smart Manufacturing: An Example of Energy-Efficient Robot.* **Lihui Wang, Xi Vincent Wang, Abdullah Mohammed Alhusin Alkhdur, Bernard Schmidt.** 2016.
6. **CKD.** 4SA0/4SB0 Small pneumatic valve. *BIBUS.* [Online] [Citace: 30. 4 2018.] https://www.bibus.ch/fileadmin/editors/countries/biaus/Pneumatik/Medien/ckd/Downloads/Elektrische_Ventile_Serie_4SA0_4SB0.pdf.
7. **ABB robotika.** Školení - základní hierarchie kurzů. [Online] [Citace: 30. 4 2018.] <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107045A1129&LanguageCode=cs&DocumentPartId=&Action=Launch>.
8. **FESTO.** Tlakové spínače SDE5. [Online] [Citace: 30. 4 2018.] https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/SDE5_CZ.PDF.
9. **FESTO AG & Co.** Elektromagnetické ventily VUVG / ventilové terminály VTUG. [Online] [Citace: 30. 4 2018.] https://www.festo.com/cat/en_gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/VTUG-G_CZ.PDF.
10. **SICK.** Magnetic safety switches. [Online] [Citace: 30. 4 2018.] https://www.sick.com/media/docs/6/76/676/Product_information_RE1_RE2_Non_contact_safety_switches_Magnetic_safety_switches_en_IM0048676.PDF.
11. **ABB.** *Návod k použití IRC5 s jednotkou FlexPendant.* Västerås : autor neznámý, 2004 - 2014. 3HAC16590-14.

-
12. **ABB, Robotika.** IRB 140 Industrial robot datasheet. [Online] [Citace: 30. 4 2018.] https://library.e.abb.com/public/98ba43a906331fec48257c6f00374818/PR10031EN%20R15_En.pdf.
 13. **SCHUNK.** Gripping systems - PGN+ 80/1. [Online] [Citace: 30. 4 2018.] <https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0004180.PDF>.
 14. **SCHUNK GmbH & Co.** Robot changing accessories - SWS 005. [Online] [Citace: 30. 4 2018.] https://schunk.com/gb_en/gripping-systems/product/17974-0302307-swk-005-000-000/.

9 Seznam příloh

Výrobní dokumentace – svařovaný rám

00_01_Rám kompletní
00_01_01_Montážní deska robotu
00_01_02_Svařovaný_rám
00_01_02_01_Profil 80x50x5x1660
00_01_02_02_Konzola středová
00_01_02_03_Profil 80x50x5x1480
00_01_02_04_Profil 80x50x5x725 Čelo
00_01_02_05_Profil 80x50x5x725 Střed
00_01_02_06_Roh
00_01_02_07_Vzpěra
00_01_02_08_Závitová deska
00_01_02_09_Konzola pravá
00_01_02_10_Konzola levá
00_01_02_11_Konzola krátká
00_01_02_12_Profil 80x50x5x1500

Výrobní dokumentace – Nástavba

00_Bunka
00_02_Centrovací vložka
00_03_Deska
00_04_Zarážka
00_05_Dveře
00_06_Polykarbonát boční
00_06_01_Polykarbonát boční
00_07_Polykarbonát zadní
00_07_01_Polykarbonát zadní
00_08_Kryt bok
00_09_Kryt čelo
00_10_Bočnice pravá
00_11_Bočnice levá
00_13_Držák harting – bunka
00_14_Držák harting - kabinet

Výrobní dokumentace – Efektory

00_15_Efektor Horký drát
00_15_01_Smyčka
00_15_02_Magnetická vložka
00_16_horký drát
00_16_01_Základna
00_16_02_magnetická vložka
00_16_03_Drát
00_16_04_závitová vložka
00_17_Efektor popisovač
00_17_01_popisovač
00_17_01_01_Tělo
00_17_01_02_Zátka
00_17_01_03_hrot
00_17_02_Držák auto V1
00_17_02_01_Objímka
00_17_02_02_Příruba automat
00_17_02_03_Tyč – krátká V
00_17_02_04_Tyč – dlouhá V1

Výrobní dokumentace – další prvky

00_17_Sloupek velký
00_18_Sloupek malý
00_20_Pracovní deska
00_20_01_Pracovní deska
00_21_01_kalibrační trn

Katalogové listy kupných komponent

Festo – VTUG-G_CZ (9)
ABB IRB140 (12)
SCHUNK PGN + 80/1 (13)
SCHUNK SWS 005 (14)
SICK RE13 SAC (10)

Skriptum

Prezentace pro výuku

- Část I. Bezpečnost
- Část II. Popis robotu
- Část III. Definice nástroje a kalibrace
- Část IV Editor programu a záloha
- Část V Pohybové instrukce
- Část VI Programování
- Část VII Signály a cykly
- Část VIII WoB

Zadání cvičebních úloh

Cvičební a prezentační úlohy

CAD Data

- Navrhovaná dvojitá RTP
- Realizované RTP
- Popisovací efektor
- Horký drát
- Úhelníky
- Ostatní

ELEKTRONICKÁ PODOBA DIPLOMOVÉ PRÁCE

- | | |
|----------------|------------------------------------|
| CD-ROM: | Diplomová práce |
| | Seznam výkresů |
| | Výkresová dokumentace |
| | CAD Data |
| | Katalogové listy kupných komponent |
| | Skriptum |
| | Prezentace pro výuku |
| | Cvičební a prezentační úlohy |
| | Zadání cvičebních úloh |
| | Záznam o závěrečné práci |